ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων
Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΗ ΚΥΠΡΟ»

Του Φοιτητή

Γεωργίου Μιχαήλ

Επιβλέπων

Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2016

“The clock is running. Make the most of today. Time waits for no man. Yesterday is history. Tomorrow is a mystery. Today is a gift. That's why it is called the present.”

Alice Morse Earle

(Υπογραφή)
.....
Γεωργίου Μιχαήλ

Copyright © ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΜΙΧΑΗΛ, 2016.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016 στο εργαστήριο ατμοκινητήρων και λεβήτων του Ε.Μ.Π. υπό την επίβλεψη του αναπληρωτή καθηγητή κ. Σωτήριου Καρέλλα. Αντικείμενο της μελέτης αυτής αποτελεί ο υπολογισμός και η τεχνοοικονομική αξιολόγηση μιας εγκατάσταση θερμικής αφαλάτωσης με τη χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών στη Κύπρο .

Θα ήθελα, λοιπόν, να ευχαριστήσω αρχικά τον κ. Καρέλλα για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το θέμα αυτό, αλλά και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου. Σημαντική η πρωτοβουλία του, μεταξύ άλλων, να μου επιτρέψει την μελέτη της διπλωματικής μου εργασίας στο εργαστήριο καθημερινά, με τα πλεονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται.

Σε καμία περίπτωση δεν μπορώ να ξεχάσω τους φίλους μου και συμφοιτητές μου αλλά και την κοπέλα μου που βρίσκονταν δίπλα μου σε κάθε ευχάριστη αλλά και δύσκολή στιγμή.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου οι οποίοι αποτελούν το πρότυπο και το κίνητρο μου, και στηρίζουν τις προσπάθειες και τις επιλογές μου όλα αυτά τα χρόνια σε κάθε τομέα της ζωής μου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος 4

Περιεχόμενα 5

Περίληψη 8

Abstract 9

Κεφάλαιο 1° Εισαγωγή στην Ηλιακή Ενέργεια 10

1.1.1 Ηλιακή ενέργεια 10

1.1.2 Γεωμετρία Ήλιου – Γης 10

1.1.3 Ηλιακές Γωνίες 11

1.1.4 Ηλιακή Ακτινοβολία 14

1.1.5 Ηλιακό Δυναμικό 15

1.1.6 Υπολογισμός προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες 17

1.2.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα 18

1.2.2 Τεχνολογίες Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων 19

Κεφάλαιο 2° Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης 21

2.1 Γενικά 21

2.2 Αρχή λειτουργίας 22

2.3 Συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη 27

2.3.1 Συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής U_t 27

2.3.2 Συντελεστής θερμικών απωλειών πυθμένα U_b 29

2.3.3 Συντελεστής πλευρικών θερμικών απωλειών U_e 29

2.4 Ο παράγοντας απόδοσης του συλλέκτη F’ 29

2.5 Η εξίσωση του συλλέκτη, οι παράγοντες θερμικής απολαβής και ροής του συλλέκτη 31

Κεφάλαιο 3° Το παγκόσμιο πρόβλημα της έλλειψης πόσιμου νερού 32

3.1 Γενικά στοιχεία 32

3.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι παγκόσμιο 32

3.3 Τα αίτια της έλλειψης πόσιμου νερού 33

3.4 Οι επιπτώσεις από την έλλειψη πόσιμου νερού 34

3.5 Μέθοδοι αντιμετώπισης της λειψυδρίας 35

3.6 Η αφαλάτωση και το πρόβλημα της ενέργειας 36

3.7 Η σημερινή κατάσταση στη Κύπρο 36

Κεφάλαιο 4° Αφαλάτωση 40

4.1 Γενικά περί αφαλάτωσης 40

4.2 Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis) 41

4.3 Θερμικές Μέθοδοι 42

4.3.1 Multi Stage Flashing (Πολυβάθμια εκτόνωση) 42

4.3.2 Multiple Effect Distillation (Πολυβάθμια εξάτμιση) 43

4.3.2.1 Forward Feed (Μπροστά τροφοδοσία) 44

4.3.2.2 Backward Feed (Προς τα πίσω τροφοδοσία) 44

4.3.2.3 Parallel Feed (Παράλληλη τροφοδοσία) 45

4.3.2.4 Parallel-Cross Feed (Παράλληλη - διασταυρωμένη τροφοδοσία) 45

4.3.2.5 Thermal Vapor Compression /Mechanical Vapor Compression 46

4.4 Περιγραφή περιφερειακών λειτουργιών της αφαλάτωσης 47

4.4.1 Pre Treatment 47

4.4.2 Post Treatment 48

4.4.3 Σύστημα αποβολής άλμης 48

Κεφάλαιο 5° Υπολογισμός Εγκατάστασης 49

5.1 Αφαλάτωση 49

5.2 Ηλιακοί συλλέκτες 50

5.3 Αποτελέσματα 51

Κεφάλαιο 6° Οικονομική Αξιολόγηση 61

6.1 Οικονομικοί Όροι 61

6.1.1 Χρηματοροή 61

6.1.2 Απόσβεση 62

6.2 Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης 62

6.2.1 Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value, NPV) 63

6.2.2 Κριτήριο Ενδογενούς Ποσοστού Απόδοσης (Internal rate of Return, IRR)..... 64

6.2.3 Κριτήριο περιόδου αποπληρωμής (Discounted payback period,DPP)..... 64

6.2.4 Κόστος Παραγόμενου Νερού (ΚΠΝ) 65

6.2.5 Ανάλυση Ευαισθησίας 65

6.3 Τεχνοοικονομική Μελέτη 66

6.3.1 Παραδοχές..... 66

6.3.2 Αποτελέσματα 66

6.3.2.1 Κόστος Παραγόμενου Νερού χωρίς αποθήκευση 66

6.3.2.2 NPV χωρίς αποθήκευση 67

6.3.2.3 IRR χωρίς αποθήκευση..... 69

6.3.2.4 Payback Period χωρίς αποθήκευση 71

6.3.2.5 Κόστος Παραγόμενου Νερού με τρίωρη αποθήκευση..... 72

6.3.2.6 NPV με τρίωρη αποθήκευση 73

6.3.2.7 IRR με τρίωρη αποθήκευση 75

6.3.2.8 Payback Period με τρίωρη αποθήκευση 77

6.3.2.9 Κόστος Παραγόμενου Νερού με δεκάωρη αποθήκευση..... 79

6.3.2.10 NPV με δεκάωρη αποθήκευση..... 80

6.3.2.11 IRR με δεκάωρη αποθήκευση 82

6.3.2.12 Payback Period με δεκάωρη αποθήκευση 84

6.4 Σύγκριση με αυτόνομη μονάδα αντίστροφης όσμωσης..... 85

Κεφάλαιο 7^{ο} Συμπεράσματα 88

Βιβλιογραφία 89

Παράρτημα Α..... 91

Παράρτημα Β..... 97

Παράρτημα Γ 102

Περίληψη

Το πρόβλημα της ανομβρίας στη Κύπρο είναι τόσο παλαιό όσο και η σύγχρονη ιστορία της. Από τη δημιουργία της Κυπριακής Δημοκρατίας ξεκίνησε ο προγραμματισμός της ανάπτυξης και κατασκευής έργων για τη λύση αυτού προβλήματος. Η Κύπρος κατατάσσεται πρώτη στον ευρωπαϊκό χώρο όσον αφορά τον αριθμό και τη χωρητικότητα μεγάλων φραγμάτων, σε σχέση με την έκταση του νησιού με αναλογία πενήντα μεγάλα φράγματα για κάθε 10,000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Παρόλη την μεγάλη αυτή δυνατότητα σε αποθήκευση νερού στα φράγματα οι χρονιές ανομβρίας εμφανίζονται όλο και πιο συχνά με συνήθη διάρκεια πολλών ετών με αποτέλεσμα να στερεύουν τα φράγματα. Έτσι η Κύπρος αναγκάστηκε στη εξεύρεση άλλων λύσεων όπως είναι η αφαλάτωση. Σήμερα υπάρχουν 4 μονάδες αφαλάτωσης με συνολική δυνατότητα περίπου 220,000 m^3νερού/την ημέρα και είναι όλες τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης. Η Κύπρος πλέον έχει την δυνατότητα να καλύψει όλες τις ανάγκες σε ύδρευση εξολοκλήρου με τη χρήση αφαλατωμένου νερού.

Η Κύπρος έχει 300 μέρες ηλιοφάνειας το χρόνο και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα αφού για το 2015 η συνεισφορά των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα ήταν μικρότερο από 8.5%. Έτσι είχαμε την σκέψη να μελετηθεί μια μονάδα θερμικής αφαλάτωσης με τη χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών αφού έτσι οι θερμικές ανάγκες καλύπτονται από ανανεώσιμη πηγή και οι ηλεκτρικές ανάγκες είναι μικρότερες σε σχέση με τις μονάδες αντίστροφης όσμωσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες γύρω από την ηλιακή ενέργεια. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφετε το μέγεθος του προβλήματος της λειψυδρίας και η σημερινή κατάσταση στη Κύπρο όσον αφορά την αφαλάτωση. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνονται η επεξήγηση των υπολογισμών της μελετώμενης μονάδας. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η οικονομική αξιολόγηση αυτής της μονάδας.

Και στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται θέματα ,που προκύπτουν από αυτή, για μελλοντική διερεύνηση.

Λέξεις κλειδιά: Αφαλάτωση, Πολυβάθμια εξάτμιση, Θερμική αφαλάτωση, Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, Ηλιακή ενέργεια, Ηλιακές γωνίες

Abstract

The problem with droughts in Cyprus is as old as it's modern history. Planning and development for the infrastructure to solve this problem started since the creation of the Republic of Cyprus. Cyprus has the biggest number and capacity of big dams in Europe (50 dams per 10,000 square kilometers). But even with all this capacity in water storage the droughts are so often and last so long that the dams empty. So the needed solution to this problem is desalination. Today there are 4 desalination plants with a total capacity of about 220,000 m3 of water per day and they all use reverse osmosis and they are capable of covering all the water needs (excluding irrigation) for the whole island.

Cyprus has 300 days of sunshine in a year and for the production of electricity is done in a great percentage using imported fossil fuels. For the year 2015 less than 8.5% was produced using renewable energy. So the idea of a thermal desalination study using flat plate collectors came up, since the thermal needs will be covered by renewable energy and the electrical needs will be less compared to a reverse osmosis plant.

In the first chapter an introduction is made to the basic concepts of solar energy. In the second chapter it is explained how the flat plate collectors function. In the third chapter it is described the global problem of fresh water shortage and the situation in Cyprus according to desalination. In the forth chapter the desalination methods are explained. In the fifth chapter it is explained how the calculations where done for this desalination plant. In the sixth chapter the economic evaluation of the plant is showed. And the final chapter refers to the conclusions of the thesis and the suggested issues that arise from it for future investigation.

Key words: Desalination, Multi effect desalination, Thermal desalination, Flat plate collector, Solar energy, Solar angles

Κεφάλαιο 1^{ο} Εισαγωγή στην Ηλιακή Ενέργεια

1.1.1 Ηλιακή ενέργεια

Ο ήλιος είναι το αστέρι στο κέντρο του ηλιακού μας συστήματος, με σχεδόν τέλεια σφαιρικό σχήμα. Αποτελείται από καυτό πλάσμα, με θερμοκρασία μέλανου σώματος 5777K, συνυφασμένο με μαγνητικά πεδία και έχει διάμετρο 1.392.000 χιλιόμετρα, περίπου 109 φορές αυτή της Γης. Η μάζα του (περίπου 2×10^{30} κιλά, 330.000 φορές αυτή της Γης) αντιπροσωπεύει περίπου το 99,86% της συνολικής μάζας του ηλιακού συστήματος. Η απόσταση του από τη γη υπολογίζεται περίπου στα 149,6 εκατομμύρια χιλιόμετρα ,γεγονός που σημαίνει ότι το φώς του, και επακόλουθα η ενέργεια του, κάνει σχεδόν 8 λεπτά και 19 δευτερόλεπτα να φτάσει στην επιφάνεια της γης. Όσο αφορά στη χημική του σύσταση, περίπου τα τρία τέταρτα της μάζας του ηλίου αποτελούνται από υδρογόνο, ενώ το υπόλοιπο είναι κυρίως ήλιο. [1]

Η ενέργεια που παράγεται από τον ήλιο ονομάζεται ηλιακή ενέργεια και είναι ουσιαστικά το προϊόν της ακατάπαυστης πυρηνικής σύντηξης του υδρογόνου σε ήλιο, η οποία λαμβάνει χώρα στον πυρήνα του. Η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται προς κάθε κατεύθυνση με τη μορφή ακτινοβολίας. Μονάδα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το W/m^2.

Στην επιφάνεια του ήλιου παράγεται ενέργεια ίση με $3,846 \times 10^{20}$ MW, ωστόσο λόγω της τεράστιας απόστασης, στην επιφάνεια της ανώτερης ατμόσφαιρας της γης φτάνουν μόνο περίπου 1,74×1014 KW (~1368W/m^2). Από αυτή την ποσότητα ενέργειας, σχεδόν το 30% αντανακλάται πίσω στο διάστημα, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τους ωκεανούς, τα σύννεφα, και την ξηρά. [22]

Τελικά στην επιφάνεια της γης φτάνουν $0,89 \times 10^{14}$ KW ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή περίπου η μισή από αυτή που προσπίπτει στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Ωστόσο ,αρκεί να αναφέρουμε ότι αυτή η ποσότητα ενέργειας είναι περίπου διπλάσια από αυτή που μπορεί να παραχθεί από όλες τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας του άνθρακα, του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, και του εξορυγμένου ουρανίου μαζί, σε ολόκληρο τον κόσμο ετησίως.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί ανά τη γη σε διάφορα γεωγραφικά μήκη και πλάτη, παρ' όλα αυτά οι τοποθεσίες κοντά στον ισημερινό έχουν σαφές προβάδισμα. [2]

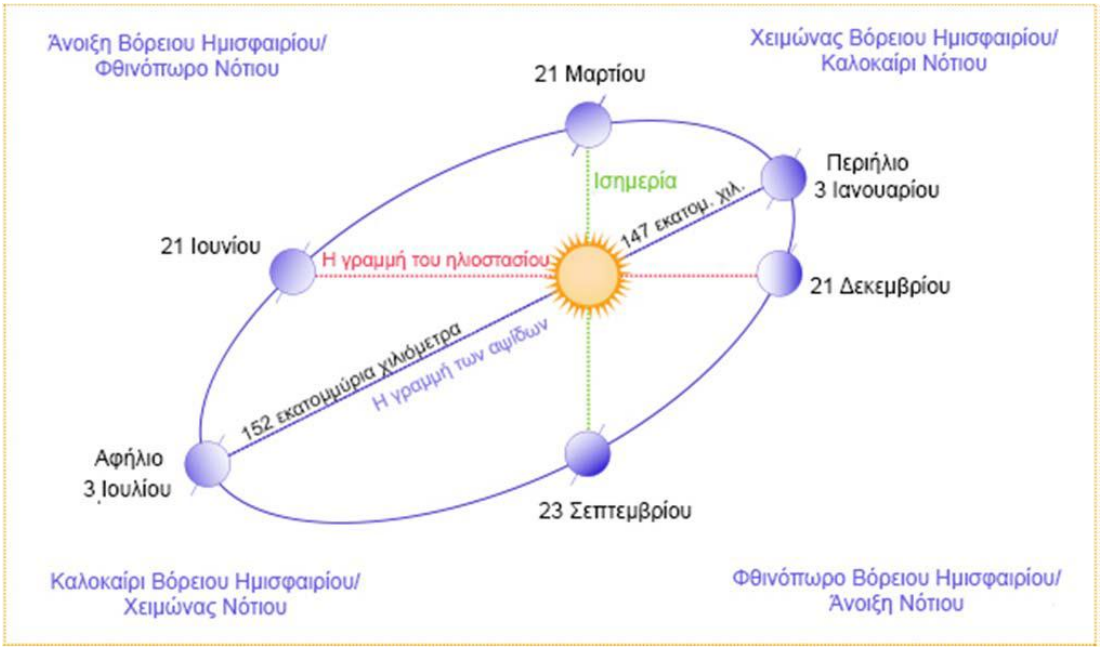
1.1.2 Γεωμετρία Ήλιου – Γης

Η ηλιακή γεωμετρία συνδέεται με δύο κύριες κινήσεις της γης :

- την ημερήσια περιστροφή γύρω από τον άξονα Βορρά-Νότου από τα δυτικά προς τα ανατολικά η οποία διαρκεί 24ώρες
- την ετήσια κίνηση γύρω από τον 'Ηλιο, που γίνεται με μέση ωριαία ταχύτητα 106.000km/h και διαρκεί 365 μέρες 5 ώρες 48' και 46'' Το διάστημα αυτό αποτελεί το έτος.

Η ελλειπτική τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο ,καθώς και η κλίση 23,45^{o} του άξονα περιστροφής της σε σχέση με την κάθετο στην τροχιά της ,παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη θέση που βλέπει τον ήλιο ένας παρατηρητής πάνω στη γη ανά πάσα στιγμή και

κατ' επέκταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της. Αυτοί οι δύο παράγοντες είναι υπεύθυνοι και για την ύπαρξη των εποχών στον πλανήτη μας. Η θέση του ηλίου είναι ένα δεδομένο που πάντα πρέπει να είναι γνωστό για τη σωστή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα.
Το παρακάτω σχήμα δείχνει την ελλειπτική τροχιά (με υπερβολική εκκεντρότητα χάριν κατανόησης) που ακολουθεί η γη γύρω από τον ήλιο, καθώς και τις διάφορες φάσεις της:
περιήλιο (2-5 Ιανουαρίου), ανοιξιάτικη ισημερία (20-21 Μαρτίου), θερινό ηλιοστάσιο (20-21 Ιουνίου), το αφήλιο (4-7 Ιουλίου), φθινοπωρινή ισημερία (22-23 Σεπτεμβρίου) και χειμερινό ηλιοστάσιο (21-22 Δεκεμβρίου).



Σχήμα 1.1 Τροχιά της γης σε σχέση με τον ήλιο. [3]

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι κατά το περιήλιο παρατηρείται η μικρότερη απόσταση γης-ήλιου (147098290 χιλιόμετρα), ενώ κατά το αφήλιο η μεγαλύτερη (152098232 χιλιόμετρα). Επίσης, το θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου) επιλέγεται ως επί το πλείστον ως ονομαστικό σημείο σχεδιασμού των συγκεντρωτικών ηλιακών εγκαταστάσεων για τον υπολογισμό των διαφόρων μεγεθών τους. [3]

1.1.3 Ηλιακές Γωνίες

Ας αναλύσουμε όμως την κίνηση του ηλίου στην ουράνια σφαίρα με τις τέσσερις βασικές ηλιακές γωνίες που την περιγράφουν:
Ωριαία γωνία (hour angle), ω: είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονα της με ρυθμό 15°/h=0,25^o/min.
Ισχύει:
Ω= 15 · (ηλιακός χρόνος – 12) ,όπου ω>0 για μ.μ. και ω<0 για π.μ.
Ωριαία γωνία δύσης ηλίου ω_s : υπολογίζεται για θ_z=90° από την παρακάτω εξίσωση [5]:

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\varphi\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta} = -\tan\varphi\tan\delta$$

Ο ηλιακός χρόνος είναι ο χρόνος που μετράται με βάση τη φαινόμενη κίνηση του ηλίου στον ουρανό. Έτσι, ηλιακό μεσημέρι είναι η χρονική στιγμή που ο ήλιος τέμνει τον μεσημβρινό του παρατηρητή. Ο ηλιακός χρόνος δεν συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο t_{loc} ,που δείχνει το ρολόι. Συνδέεται όμως με αυτόν σύμφωνα με την εξίσωση [4]:

Ηλιακός χρόνος $=t_{loc} \pm 4 \cdot (L_{st}-L_{loc}) + E$

,όπου L_{st} είναι το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού στον οποίο βασίζεται ο τοπικός χρόνος (για την Κύπρο είναι π.χ. 30°) και L_{loc} το γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή. Η σχέση ισχύει με + για τα δυτικά μήκη και με – για τα ανατολικά. Ο συντελεστής 4 εκφράζει min/μοίρα. Τέλος, E (σε min.) είναι η εξίσωση του χρόνου που λαμβάνεται για κάθε ημέρα του έτους από τη σχέση [5]:

$E= 9,87 \cdot \sin(2B) -7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B)$

για $B=360(n-81)/365$,και n= ημέρα του έτους

Ηλιακή απόκλιση (declination), δ: είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Πρόκειται ,δηλαδή, για τη γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία που ενώνει τα κέντρα του ήλιου και της γης ,και από το επίπεδο του ισημερινού.

Η αυξομείωση της απόκλισης μεταβάλλει την κατανομή της ηλιακής πρόσπτωσης στην επιφάνεια της γης με αποτέλεσμα την εναλλαγή των εποχών που εμφανίζονται στο βόρειο και το νότιο ημισφαίριο κατά αντίστροφο τρόπο και τη διακύμανση των χρονικών διαστημάτων μέρας και νύχτας εντός του έτους.

Ισχύει ότι $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$,με θετικές τιμές προς τον βορρά.

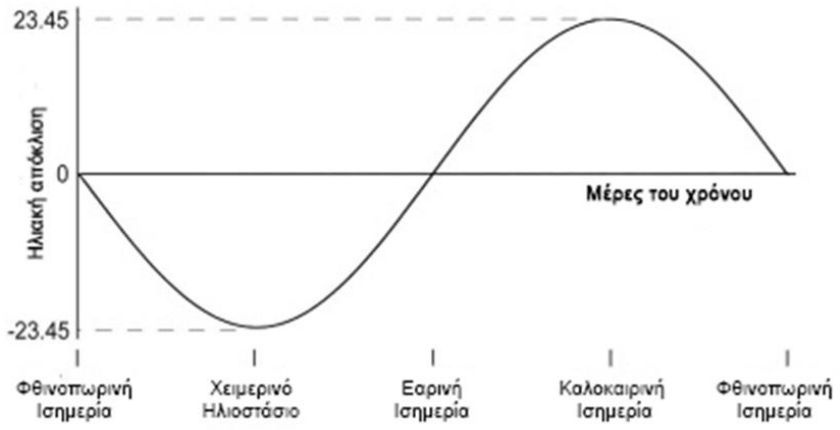
Η απόκλιση του ηλίου ή ηλιακή απόκλιση δίνεται από τη σχέση [5] :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360\ (284+n)}{365}\right)$$

όπου **n** = 1÷365 είναι η μέρα του έτους. [5]

Ένα ενδιαφέρον διάγραμμα με την μεταβολή της ηλιακής απόκλισης δ, κατά τη διάρκεια

του έτους παρουσιάζεται αμέσως παρακάτω:



Σχήμα 1.2 Μεταβολή της Ηλιακής Απόκλισης. [6]

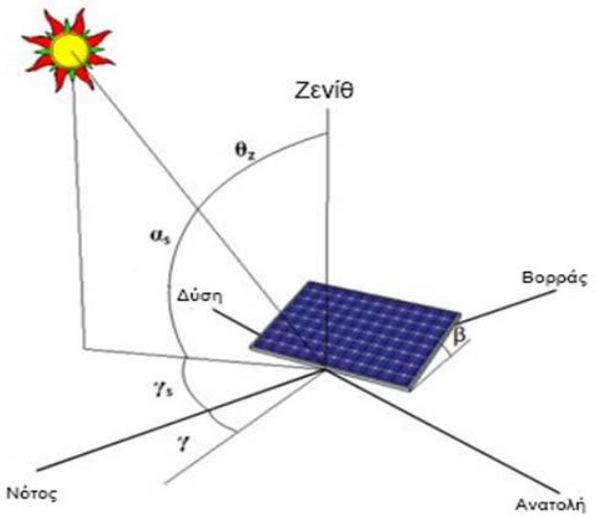
Ηλιακό ύψος (elevation angle),a_s: είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ηλίου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο.
Δίνεται από τον τύπο [4]:
$\sin(a_s)=\cos(\omega)\cdot \cos(\delta) \cdot \cos(L_{at}) + \sin(\delta) \cdot \sin(L_{at})$
Γωνία πρόσπτωσης θ: Γωνία πρόσπτωσης θ της αμέσου ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια είναι η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτίνων και της καθέτου στην επιφάνεια. Το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης θ υπολογίζεται από τη σχέση [5]:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\varphi \cos\beta - \sin\delta \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega$$

Ηλιακό αζιμούθιο (azimuth angle),γ_s: είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης (δεξιόστροφη φορά).
Έχουμε ,δηλαδή $\gamma_s=0^o$ στο νότο, $\gamma_s=90^o$ στη δύση, $\gamma_s=180^o$ στο βορρά και $\gamma_s=-90^o$ στην ανατολή.
Ο τύπος που μπορεί να μας δώσει την παραπάνω γωνία είναι [6] :

$$\sin(\gamma_s) = \frac{\cos(\delta)\cdot \sin(\omega)}{\cos(a_s)}$$

Το ηλιακό ύψος και το ηλιακό αζιμούθιο μπορούν να κατανοηθούν ευκολότερα με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος:



Σχήμα 1.3 Ηλιακό ύψος και ηλιακό αζιμούθιο. [7]

Γεωγραφικό πλάτος φ (latitude) ενός σημείου στην επιφάνεια της γης: είναι η γωνία που σχηματίζει η κατακόρυφος του τόπου με το επίπεδο του ισημερινού. Το γεωγραφικό πλάτος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών πρώτα και δεύτερα από 0ο - 90ο βόρεια ή από 0° - 90° νότια (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον ισημερινό του οποίου το γεωγραφικό πλάτος είναι 0°.

Γεωγραφικό μήκος λ (longitude) ενός σημείου στην επιφάνεια της γης : είναι η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του μεσημβρινού που διέρχεται από το εν λόγω σημείο με το επίπεδο του πρώτου μεσημβρινού. . Το γεωγραφικό μήκος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών πρώτα και δεύτερα από 0° - 180° ανατολικά ή από 0° - 180° δυτικά (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον πρώτο μεσημβρινό με γεωγραφικό μήκος 0° -μεσημβρινός του Greenwich).

1.1.4 Ηλιακή Ακτινοβολία

Λόγω της μεγάλης ακτίνας της ελλειπτικής τροχιάς οι ηλιακές ακτίνες που φθάνουν στη γη θεωρούνται παράλληλες (στην πραγματικότητα σχηματίζουν γωνία μικρότερη από $0{,}5^o$). Η μεταβολή της απόστασης γης-ηλίου προκαλεί μεταβολή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά ±3% περί τη μέση τιμή της. Η ακτινοβολία G_{on} που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας κάθετο στις ακτίνες δίνεται από τη σχέση [5]:

$$G_{on} = G_{sc}\ (1 + 0.033 \cos\frac{360\,n}{365})$$

όπου :

G_{sc}: η ηλιακή σταθερά δηλαδή η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμόσφαιρας από τον ήλιο η μονάδα επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας όταν η απόσταση γης –ηλίου λαμβάνει τη μέση τιμή της. Το 1970 προτάθηκε ως πρότυπη τιμή της ηλιακής σταθεράς, η τιμή (1353±21) W/m^2. Μεταγενέστερες, περισσότερο ακριβείς, μετρήσεις από δορυφόρους έδωσαν, τιμές για την ηλιακή σταθερά, στην περιοχή 1363-1375 W/m^2. Η μέση τιμή τους = 1367 W/m^2, χρησιμοποιείται πλέον διεθνώς, ως πρότυπη τιμή. [14]

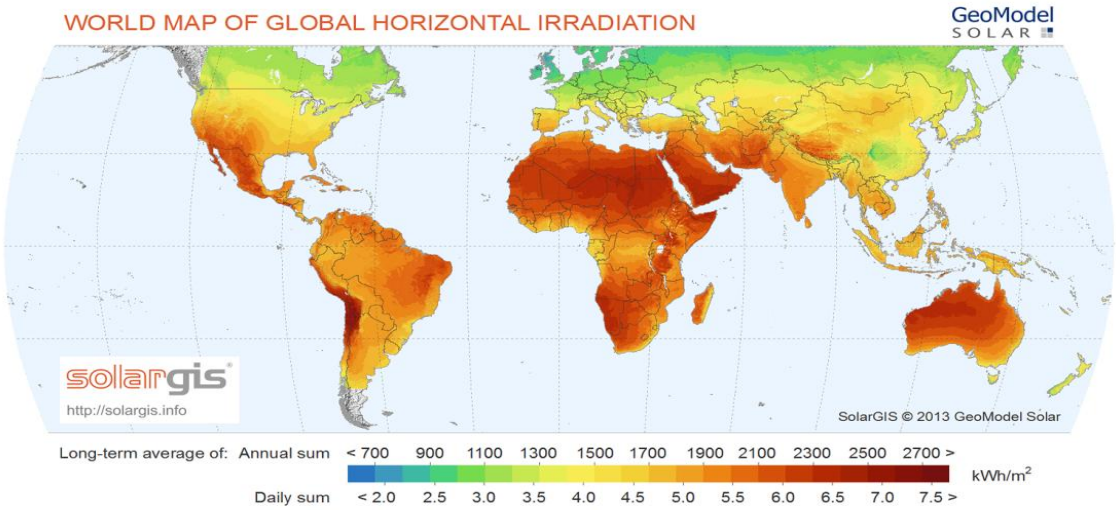
Άμεση Ακτινοβολία (Direct Normal Irradiance): είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη κατ' ευθείαν από τον ήλιο ,χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Σε αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί πως τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα έχουν την δυνατότητα εκμετάλλευσης μόνο αυτής της μορφής της ηλιακής ακτινοβολίας και όχι της διάχυτης.
Διάχυτη Ακτινοβολία (Diffuse Normal Irradiance): ονομάζεται το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Πρόκειται ,ουσιαστικά, για την ακτινοβολία ,η οποία κατά τη διάρκεια της ημέρας δίνει την αίσθηση της ηλιοφάνειας ακόμα και αν δεν μπορούμε να δούμε τον ήλιο.
Έχει ,επομένως, μεγάλη αξία η γνώση των τιμών άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε συχνά χρονικά διαστήματα (π.χ. ανά ώρα) για τη μελέτη ηλιοθερμικών συστημάτων. Το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες καλείται *ολική ακτινοβολία (Global Normal Irradiance)*. Η μονάδα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας στο S.I. είναι το W/m^2. [5]
Η προσπίπτουσα ακτινοβολία που δέχεται ένας αισθητήρας ή ένας συλλέκτης αποτελείται από την άμεση , τη διάχυτη και τη διάχυτα ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία. Η διάχυτα ανακλώμενη εξαρτάται από τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους ή της επικάλυψής του (γρασίδι ή χιόνι) και την πυκνότητα των νεφών. Η διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός συλλέκτη ή αισθητήρα καθορίζεται από τη φύση της επιφάνειας όπου ανακλάται διάχυτα. Το φως ανακλάται στα σύννεφα, το γυμνό έδαφος, τα φυτά, το χιόνι, το νερό (θάλασσες, λίμνες), τις ανθρώπινες κατασκευές κ.α. Η διάχυτη ανακλαστικότητα, δηλαδή, το ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης και ό,τι την καλύπτει, αναφέρεται, στη βιβλιογραφία, ως albedo.
Η άμεση ακτινοβολία μπορεί να διακριθεί από τη διάχυτη, με βάση το οπτικό αποτέλεσμα της διέλευσης τους από συγκεντρωτικό φακό ή την ανάκλαση τους σε κοίλο κάτοπτρο. Η άμεση ακτινοβολία μπορεί, μετά την ανάκλασή της σε κατοπτρική επιφάνεια , να σχηματίζει σε αρκετά μεγάλη απόσταση είδωλο πάνω στην εστία ενός οπτικού οργάνου (συγκεντρωτή). Αντίθετα η διάχυτη ακτινοβολία, προερχόμενη από όλο τον ουρανό, δεν εστιάζεται και συνεπώς δε δίνει είδωλο. [23]
Η ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμόσφαιρας G_o συνδέεται με την κάθετο ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας με τη σχέση [14]:

$$G_o = G_{on} \cos\theta_z = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos\frac{360\,n}{365}\right) (\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega)$$

1.1.5 Ηλιακό Δυναμικό

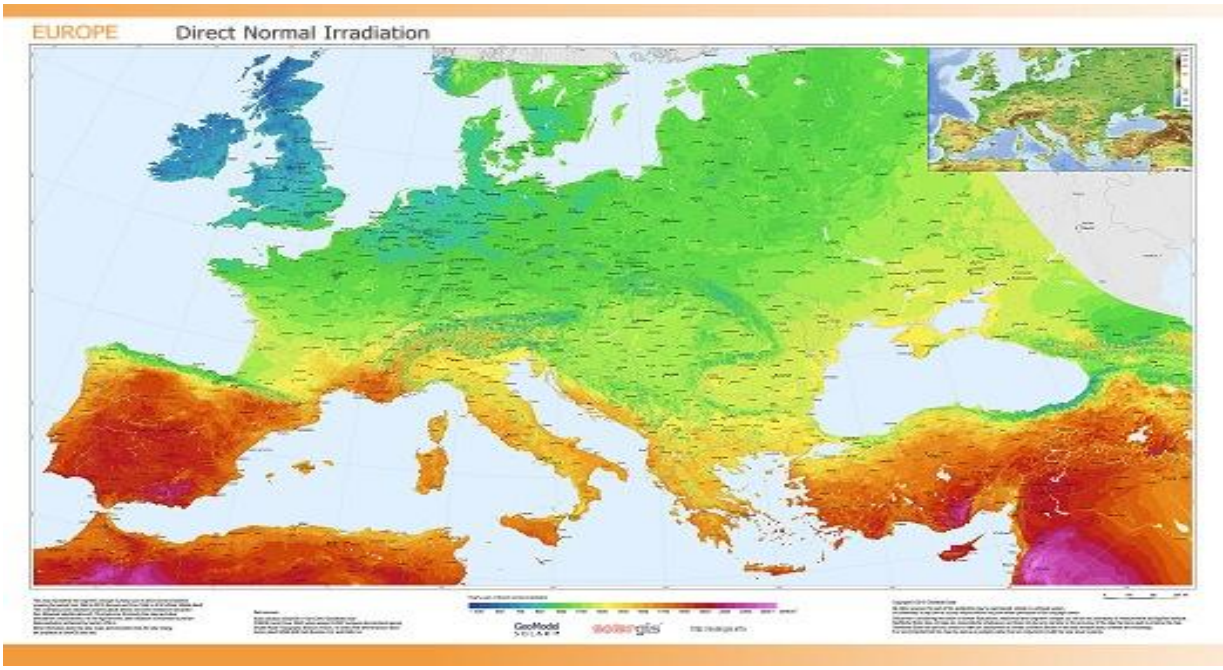
Μιλώντας για ηλιακό δυναμικό μίας τοποθεσίας ,αναφερόμαστε ουσιαστικά στις τιμές άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτή κατά μέσο όρο στη διάρκεια ενός έτους. Το ηλιακό δυναμικό αποτελεί ,στην πραγματικότητα, το πρώτο και το πιο βασικό κριτήριο για τον χαρακτηρισμό ενός μέρους ως κατάλληλου ή ακατάλληλου για την εγκατάσταση συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων. Όσο πιο

υψηλό είναι το ηλιακό δυναμικό μιας περιοχής, τόσο περισσότερο ενδείκνυται ,προφανώς, σε αυτήν η κατασκευή ηλιοθερμικών εγκαταστάσεων.
Παρακάτω παρουσιάζεται ο παγκόσμιος χάρτης με τις ετήσιες τιμές άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας:



Σχήμα 1.4 Παγκόσμιος Χάρτης Άμεσης Προσπίπτουσας Ηλιακής Ακτινοβολίας (DNI). [10]

Βλέπουμε πως οι περιοχές κοντά στη γραμμή του ισημερινού, με γεωγραφικό πλάτος περίπου από -40° έως +40°, συγκεντρώνουν το υψηλότερο ηλιακό δυναμικό. Πρόκειται ,γενικώς, για ημιάγονες και άγονες περιοχές ,ερήμους και κάποια υψίπεδα. Η εγκατάσταση συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων συστήνεται σε περιοχές με ετήσια άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία μεγαλύτερη των 2000KWh/m^2 ,ενώ σε περιοχές με άμεση ακτινοβολία μεγαλύτερη των 2800KWh/m^2 αποτελεί ιδανική επιλογή. Συνοπτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ως περιοχές υψηλού ηλιακού δυναμικού τις Νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, το Μεξικό, την Αυστραλία, την Ισπανία, το Ιράν, την Ινδία, το Πακιστάν, την Χιλή, την Αργεντινή και τη Βραζιλία καθώς και τις περισσότερες χώρες της Μέσης Ανατολής και της Αφρικής. Κορυφαίες περιοχές, από άποψη ηλιακού δυναμικού χαρακτηρίζονται οι έρημοι στη βόρεια Χιλή, στη νότια Αφρική, στην Αίγυπτο, στη Λιβύη και στη δυτική Αυστραλία. [8], [9]



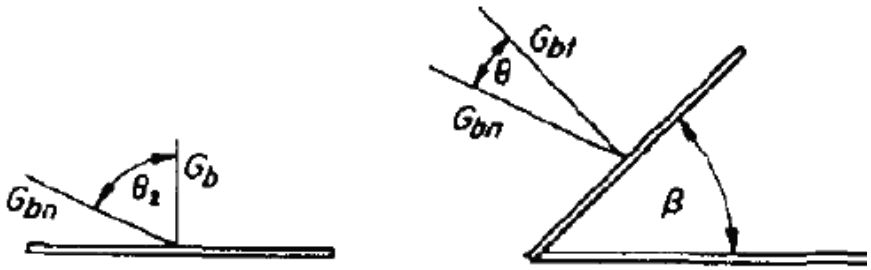
Σχήμα 1.5 Χάρτης Άμεσης Προσπίπτουσας Ηλιακής Ακτινοβολίας (DNI) για την Ευρώπη.

Παρατηρεί κανείς στον παραπάνω χάρτη πως η Κύπρος βρίσκεται πολύ κοντά στο φράγμα των 2000kWh/m^2 ετησίως. [10]

1.1.6 Υπολογισμός προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες

Για το σχεδιασμό των ηλιακών συστημάτων αλλά και την αξιολόγηση της απόδοσης τους απαιτείται συχνά ο υπολογισμός της ωριαίας ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο ενός συλλέκτη με βάση τη μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Ο γεωμετρικός παράγοντας R_b εκφράζει την αναλογία της άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο σε σχέση με την άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο και υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω [4]:

$$R_b = \frac{G_{b,T}}{G_b} = \frac{G_{b,n}\cos\theta}{G_{b,n}\cos\theta_z} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$



Σχήμα 1.6 Άμεση ακτινοβολία οριζόντιας και κεκλιμένης επιφάνειας

Όπου :

$G_{b,T}$: η άμεση ακτινοβολία που δέχεται το κεκλιμένο επίπεδο

G_b : η άμεση ακτινοβολία που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο

$G_{b,n}$: η άμεση ακτινοβολία που δέχεται το κάθετο στις ηλιακές ακτίνες επίπεδο
Η ολική ακτινοβολία που δέχεται ένα κεκλιμένο επίπεδο δίνεται από τη σχέση [14]:

$$G_{b,T} = G_b \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες με δεδομένη ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου πρέπει να είναι γνωστή η διεύθυνση κατά την οποία φθάνει και η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία. Η κατανομή της διάχυτης ακτινοβολίας πάνω στον ουράνιο θόλο εξαρτάται από τη νέφωση και από την ατμοσφαιρική διαύγεια. Έχει παρατηρηθεί συγκέντρωση της διάχυτης γύρω από τον ήλιο και κοντά στον ορίζοντα. Σε πρακτικές εφαρμογές γίνεται η υπόθεση της ισότροπης διάχυτης ακτινοβολίας η οποία είναι περισσότερο ακριβής στην περίπτωση ομοιόμορφης νέφωσης και θαμπής ατμόσφαιρας. Αντίθετα, στην περίπτωση καθαρού ουρανού είναι πιο ακριβές να θεωρηθεί ότι η διάχυτη ακτινοβολία έρχεται από την περιοχή του ηλίου.
Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας που δέχεται ένα κεκλιμένο επίπεδο έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα. Το επικρατέστερο από αυτά είναι αυτό των Liu Jordan που θεωρεί ότι η ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια που σχηματίζει κλίση β με το οριζόντιο επίπεδο αποτελείται από τρεις συνιστώσες [4]:

1. την άμεση ακτινοβολία : $G_B \cos\theta$

2. τη διάχυτη ακτινοβολία προερχόμενη από τον ουρανό : $G_D \left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right]$

3. τη διάχυτη ακτινοβολία προερχόμενη από ανάκλαση της ολικής στο έδαφος : $(G_B + G_D)\,\rho \left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right]$

όπου ρ ο συντελεστής ανάκλασης (albedo).
Προσθέτοντας τις τρεις παραπάνω συνιστώσες προκύπτει η ολική ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου :

$$G_T = G_B \cos\theta + G_D \left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + (G_B + G_D)\,\rho \left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right]$$

1.2.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα συνδυάζουν διάφορες τεχνολογίες και προσφέρουν ενέργεια για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, καθιστώντας τα αποδοτικά, αξιόπιστα και ανταγωνιστικά. Η θερμότητα από ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων θέρμανση νερού χρήσης, θέρμανση χώρων, θερμότητα για βιομηχανικές διεργασίες, κλιματισμό, παραγωγή ατμού για βιομηχανικές εφαρμογές, ξήρανση.
Ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται, την τεχνολογία που χρησιμοποιείται, το μέγεθός τους, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής κ.τ.λ μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικού τύπου ηλιακά θερμικά συστήματα.

Στην Κύπρο, η οποία αποτελεί παγκοσμίως μια από τις πρωτοπόρες χώρες στη χρήση θερμικών ηλιακών, η συντριπτική πλειοψηφία αυτών των συστημάτων είναι κυρίως θερμοσιφωνικά (για θέρμανση νερού χρήσης). Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σημαντική εξαγωγική δραστηριότητα.
Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 2007 η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ηλιακών θερμικών συστημάτων σε λειτουργία ήταν ίση με 146.8 GWth που αντιστοιχούν σε 209.7 εκ.m^2 συλλεκτών. Από αυτά το 82% περίπου προέρχονται από επίπεδους συλλέκτες. [14]
Ενώ το εγκατεστημένο ποσοστό ηλιακών συλλεκτών στην Κύπρο ανέρχεται σε 92% στις οικίες και 53% στα ξενοδοχεία. Υπάρχουν συνολικά εγκατεστημένα 830.000 τ.μ ηλιακών συλλεκτών στην χώρα μας και η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι 555.000 MWh. Η Κύπρος είναι η πρώτη χώρα στον κόσμο σε επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών ανά κάτοικο καθώς αναλογεί περίπου 1 m^2 /κάτοικο. [12]
Επιπρόσθετα με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας αποφεύγεται η χρήση ορυκτών καυσίμων. Το περιβαλλοντικό όφελος από τη χρήση ηλιακών θερμικών συστημάτων προκύπτει από την εξοικονόμηση ενέργειας και κατ' επέκταση τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Μια μικρή αναφορά στα περιβαλλοντικά οφέλη που απορρέουν από τη χρήση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων δείχνει ότι επιτυγχάνονται τα εξής: [13]

- Εξοικονόμηση καυσίμων που ισοδυναμεί με 50-70 kg πετρελαίου/m^2 συλλέκτη ετησίως
- Μείωση εκπομπών CO_2 άνω των 750 kg/m^2 συλλέκτη ετησίως σε περίπτωση υποκατάστασης ηλεκτρικού ρεύματος
- Μείωση εκπομπών CO_2 άνω των 250kg CO_2/m^2 συλλέκτη ετησίως σε περίπτωση υποκατάστασης πετρελαίου

1.2.2 Τεχνολογίες Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν κυρίως ηλιακούς συλλέκτες και δεξαμενές αποθήκευσης (για δυνατότητα χρήσης σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει ηλιοφάνεια όπως τη νύχτα ή όταν έχει συννεφιά) ως χωριστά υποσυστήματα, ενώ η μεταφορά της ενέργειας μέσω ενός θερμαινόμενου ρευστού (νερό, αέρας, λάδι) πραγματοποιείται είτε με φυσική κυκλοφορία, είτε με εξαναγκασμένη (χρήση αντλιών-κυκλοφορητών, βαλβίδων και συστημάτων ελέγχου).
Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ένας ειδικής μορφής εναλλάκτης θερμότητας που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Ένας ηλιακός συλλέκτης διαφέρει σε πολλά πράγματα από τους περισσότερους συμβατικούς εναλλάκτες. Στους τελευταίους η μεταφορά θερμότητας γίνεται από ρευστό σε ρευστό ενώ ο ρόλος της ακτινοβολίας δεν είναι σημαντικός. Αντίθετα σε έναν ηλιακό συλλέκτη η ενέργεια μεταφέρεται με την μορφή ακτινοβολίας από μια πολύ μακρινή πηγή (ήλιος), σε ένα ρευστό που ρέει μέσω του συλλέκτη και καθιστά το εργαζόμενο μέσο.
Τα ιδιαίτερα προβλήματα που συναντώνται κατά την ανάλυση των ηλιακών συλλεκτών σχετίζονται με τις χαμηλές και συνεχώς μεταβαλλόμενες τιμές της

προσπίπτουσας ενέργειας και την σχετικά μεγάλη σημασία της μετάδοσης θερμότητας δι' ακτινοβολίας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η ροή προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι στην καλύτερη περίπτωση 1100W/m^2 περίπου (υπενθυμίζεται ότι η ηλιακή σταθερά είναι GSC=1353W/m^2). Επομένως το ηλιακό δυναμικό το οποίο αξιοποιείται με την μορφή θερμότητας -αν και σημαντικό- απέχει πολύ από την πλήρη εκμετάλλευσή του. [14]

- Οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται αρχικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες:
  - *Μη συγκεντρωτικοί*
  - Επίπεδοι συλλέκτες
  - Συλλέκτες κενού
- Συγκεντρωτικοί
  - Σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτές (CPC - Compound Parabolic Concentrators)
  - Με επιμήκεις παραβολικούς συγκεντρωτές (PTC - Parabolic Trough Concentrators)
  - Με παραβολοειδείς συγκεντρωτές
  - Γραμμικός ανακλαστής Fresnel (τύπου LFR - Linear Fresnel Reflector)
  - Με κεντρικό δέκτη

Επίσης οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται σε ορισμένες κατηγορίες με βάση την θερμοκρασία λειτουργίας: [14]

- Χαμηλής θερμοκρασίας (< 90°C) → Επίπεδοι συλλέκτες
- Μέσης Θερμοκρασίας (90 ÷ 250°C) → Συλλέκτες με σωλήνες κενού
- Υψηλής θερμοκρασίας (>250°C) → Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

Οι μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες χρησιμοποιούν την ίδια επιφάνεια για τη συλλογή και την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.
Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν δέκτη που αποτελεί μια μικρότερη επιφάνεια απορρόφησης χρησιμοποιώντας ανακλαστικές επιφάνειες ή διαθλαστικούς φακούς, αυξάνοντας έτσι την ροή της απορροφούμενης ακτινοβολίας. [4]
Στην παρούσα διπλωματική εργασία δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.

Κεφάλαιο 2^{ο} Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

2.1 Γενικά

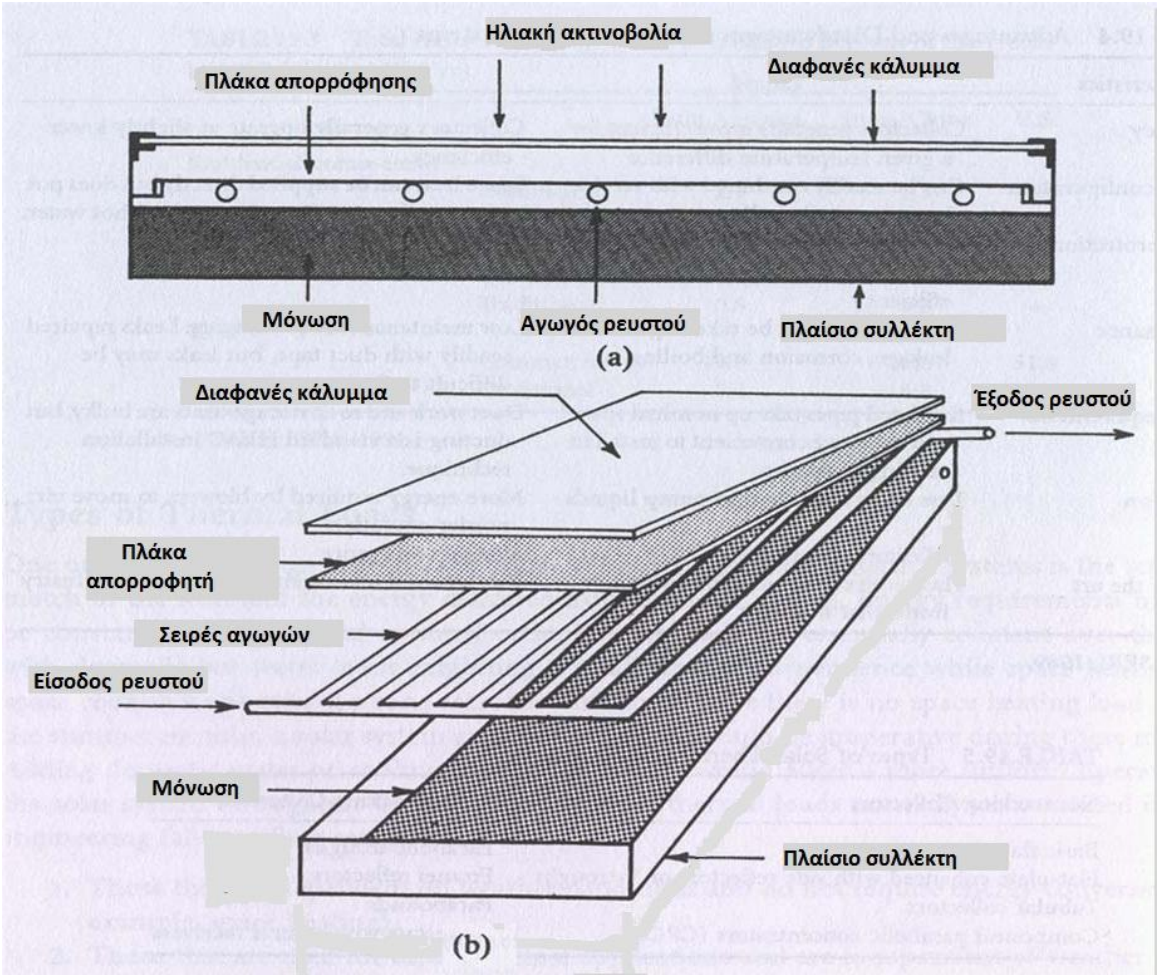
Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Τα ιδιαίτερα προβλήματα που συναντώνται κατά την ανάλυση των ηλιακών συλλεκτών σχετίζονται με τις χαμηλές και συνεχώς μεταβαλλόμενες τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας και τη σχετικά μεγάλη σημασία της μετάδοσης θερμότητας δια ακτινοβολίας.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες είναι [5]:

- Χρήση σε εφαρμογές που απαιτούν απόδοση ενέργειας σε μέσες θερμοκρασίες.
- Εκμετάλλευση της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας.
- Δεν απαιτούν μηχανισμό κίνησης για την παρακολούθηση του ηλίου και άρα είναι μηχανικά απλούστεροι των συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών και απαιτούν μόνο μικρή συντήρηση.
- Κύριες εφαρμογές είναι η θέρμανση νερού χρήσης και η θέρμανση κτηρίων ενώ είναι δυνατή και η παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση.

Τα κύρια μέρη ενός ηλιακού συλλέκτη είναι [5]:

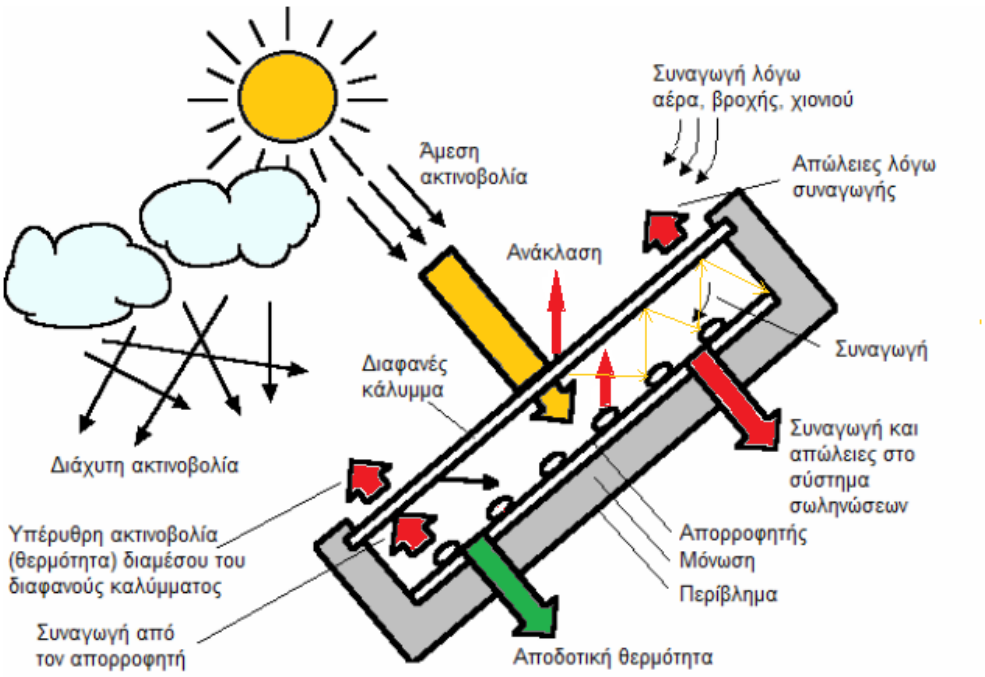
- Ο απορροφητήρας ή πλάκα απορρόφησης, δηλαδή η μαύρη επιφάνεια που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Ο απορροφητής είναι εφοδιασμένος με σύστημα μεταφοράς της ενέργειας σε ρευστό, σωλήνες για θέρμανση υγρού ή αεραγωγούς για θέρμανση αέρα.
- Ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα πάνω από τον απορροφητήρα ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες δια συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον.
- Μόνωση της πίσω και των παράπλευρων επιφανειών ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες.
- Πλαίσιο που περιβάλει τον συλλέκτη.



Σχήμα 2.1 Τομή ενός επίπεδου συλλέκτη

2.2 Αρχή λειτουργίας

Ένα μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας διαπερνά το κάλυμμα και προσκρούει στην πλάκα απορρόφησης. Όπως αναπαρίσταται και στο Σχήμα 1.2 το μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφάται από τον απορροφητή και τις σωληνώσεις, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται προς τυχαίες κατευθύνσεις και προσκρούει με τη σειρά του στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ανακλώμενης ακτινοβολίας, ανακλάται πάλι πίσω από την εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος προς την πλάκα, με αποτέλεσμα να παγιδεύεται εντός του διακένου (φαινόμενο θερμοκηπίου) και τελικά να απορροφάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την πλάκα και τους αγωγούς. Η θερμότητα που δεσμεύεται από τον απορροφητή μεταφέρεται δια αγωγής στα τοιχώματα των αγωγών και στη συνέχεια δια συναγωγής στο εργαζόμενο μέσο. Το κάτω μέρος του απορροφητή καθώς και η εσωτερική πλευρά του πλαισίου είναι καλά μονωμένα για τη μείωση των θερμικών απωλειών λόγω ακτινοβολίας και αγωγής. [4]



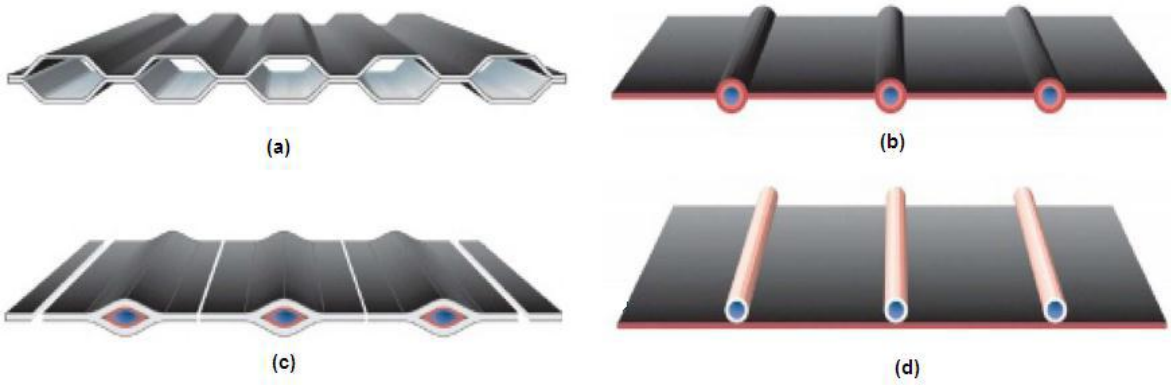
Σχήμα 2.2: Μετάδοση θερμότητας σε επίπεδο ηλιακό συλλέκτη [11]

Το υγρό εργαζόμενο μέσο εντός ενός τυπικού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη φυσικής κυκλοφορίας ρέει βάσει της αρχής του θερμοσιφώνου, σύμφωνα με την οποία το θερμό υγρό ανέρχεται εντός του συλλέκτη κατευθυνόμενο προς το άνω άκρο της δεξαμενής και τη θέση του παίρνει το ψυχρό υγρό που βρίσκεται στον πυθμένα. Με λίγα λόγια η διαφορά πυκνότητας που δημιουργήθηκε εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας στο εργαζόμενο μέσο είναι η αιτία που προκαλεί τη ροή του μέσου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ταχύτητες που αναπτύσσονται κατά τη φυσική αυτή συναγωγή είναι αρκετά μικρές, της τάξεως του 0.08m/s και άρα οι απώλειες, λόγω συνεκτικότητας, είναι αμελητέες.

Το διαφανές κάλυμμα έχει την ιδιότητα να παρουσιάζει μεγάλη διαπερατότητα σε υψηλής συχνότητας ακτινοβολία και χαμηλή διαπερατότητα σε ακτινοβολία χαμηλής συχνότητας. Έτσι επιτρέπει στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία να το διαπεράσει και να την εγκλωβίσει στο διάκενο που δημιουργείται μεταξύ πλάκας και απορροφητή για την εκμετάλλευση του μεγαλύτερου μέρους της, ενώ ταυτόχρονα βοηθά ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες δια συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον, αφού το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από τον απορροφητή επιστρέφει πάλι πίσω και έτσι μειώνονται οι διαφυγές της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επιλεκτική επιφάνεια διακρίνεται από μεγάλη απορροφητικότητα (90÷95%) και ελάχιστη ανάκλαση (5÷15%) στα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας, και από ελάχιστη ανάκλαση στα μεγαλύτερα μήκη κύματος. Δηλαδή απορροφά την ενέργεια του ήλιου χωρίς να την ανακλά. Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως καλύμματα είναι το απλό γυαλί, γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο, γυαλί με πρισματοειδή διαμόρφωση,

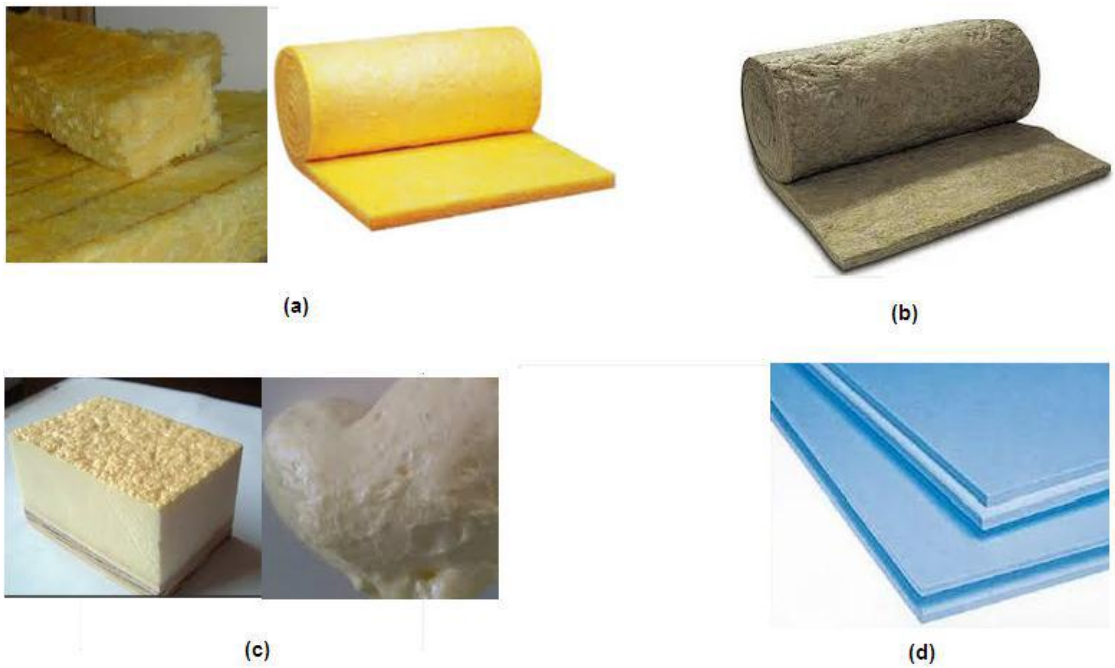
πολυκαρβονικά και ακρυλικά πλαστικά. Το πάχος του καλύμματος κυμαίνεται συνήθως σε 3÷5 mm.

Ο απορροφητής ή πλάκα απορρόφησης είναι το πλέον σημαντικό κομμάτι ενός ηλιακού συλλέκτη δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που θα πάρει το εργαζόμενο μέσο εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που απορροφά. Είναι ένα σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει την απορροφητική επιφάνεια και τους αγωγούς κυκλοφορίας του ρευστού μαζί με το ρευστό. Η απορροφητική επιφάνεια είναι μια επίπεδη μεταλλική επιφάνεια επικαλυμμένη με μαύρο χρώμα ή με στρώμα επιλεκτικής βαφής ώστε να μεγιστοποιεί τη συλλογή θερμικής ισχύος. Επειδή σε γενικές γραμμές η απορροφητικότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της απορροφητικής επιφάνειας δεν είναι μεγάλη, στην επιφάνειά τους τοποθετείται κατάλληλη επικάλυψη υψηλής απορροφητικότητας. Οι συλλέκτες με επιλεκτική βαφή μπορεί να έχουν μέχρι και 30% μεγαλύτερη απόδοση, σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες με απλή μαύρη βαφή λόγω της μείωσης των απωλειών λόγω ανάκλασης. Για χαμηλές θερμοκρασίες (όπως θέρμανση πισινών) χρησιμοποιούνται πλαστικές απορροφητικές πλάκες. Οι μεταλλικές πλάκες κατασκευάζονται συνήθως από υλικά όπως χαλκό, αλουμίνιο ή χάλυβα εξαιτίας του σχετικά χαμηλού κόστους, της υψηλής αντοχής τους και των καλών θερμομηχανικών ιδιοτήτων τους. Η συνήθης απόσταση μεταξύ καλύμματος και απορροφητή κυμαίνεται από 15÷25mm. Επίσης η αποδοτική λειτουργία του απορροφητή καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό και από την διαμόρφωσή του. Οι πλάκες απορρόφησης απαρτίζονται από επιμέρους λωρίδες (μία λωρίδα για κάθε αγωγό) που κολλούνται μεταξύ τους. Οι κυριότεροι τρόποι διαμόρφωσης είναι είτε σωλήνες σε επαφή με την πλάκα της απορροφητικής επιφάνειας, είτε σωλήνες σε επαφή με πτερύγια, είτε αγωγοί διαμορφωμένοι στο σώμα της απορροφητικής επιφάνειας (τύπου «σάντουιτς»).



Σχήμα 2.3: Τύποι απορροφητικών πλακών (a) Αγωγοί διαμορφωμένοι στο σώμα της απορροφητικής επιφάνειας (b) (c) Σωλήνες σε επαφή με την πλάκα απορρόφησης (d) Σωλήνες σε επαφή με πτερύγια

Στους σωλήνες κυκλοφορεί ρευστό το οποίο αποτελεί το εργαζόμενο μέσο, όπου απάγει θερμότητα από την απορροφητική πλάκα. Το ρευστό ρέει όπως προαναφέρθηκε βάσει της αρχής του θερμοσιφώνου, σύμφωνα με την οποία το θερμό υγρό ανέρχεται εντός του συλλέκτη κατευθυνόμενο προς το άνω άκρο της δεξαμενής αποθήκευσης και τη θέση του παίρνει το ψυχρό υγρό που βρίσκεται στον πυθμένα. Συνήθως ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται νερό, αέρας ή λάδι.
Η μόνωση των πλάγιων και πίσω πλευρών του συλλέκτη χρησιμοποιείται ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Ο υαλοβάμβακας υψηλής ποιότητας και ο πετροβάμβακας εμφανίζουν καλές μονωτικές ιδιότητες και αντοχή στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στον συλλέκτη. Όπως όλα τα μονωτικά υλικά είναι απαραίτητο να προστατευθούν από την υγρασία. Χρησιμοποιούνται σε πάχη μέχρι και 50mm καθώς το όφελος για μεγαλύτερα πάχη είναι μηδαμινό. Οι αφροί πολυουρεθάνης και εξηλασμένη πολυστερίνη είναι δημοφιλή μονωτικά υλικά εξαιτίας του πολύ χαμηλού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, αλλά και της μεγαλύτερης αντοχής τους σε υγρασία. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι δεν αντέχουν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 120°C. Σε γενικές γραμμές ως μονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως αφρός πολυουρεθάνης στην πίσω πλευρά με πετροβάμβακα στα πλαϊνά ή δευτερευόντως πετροβάμβακας παντού.



Σχήμα 2.4: Είδη μονωτικών υλικών (a) Υαλοβάμβακας (b) Πετροβάμβακας (c) Πολυουρεθάνη (d) Εξηλασμένη πολυστερίνη

Το πλαίσιο περιβάλλει τον συλλέκτη και τον προστατεύει από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως την σκόνη και την υγρασία ενώ προσφέρει ακαμψία στο σύστημα. Συνήθως είναι μεταλλικό, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις συναντάται και πλαστικό.
Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στραμμένοι προς τον ισημερινό ($\gamma=0^{o}$ για το βόριο ημισφαίριο και $\gamma=180^{o}$ για το νότιο ημισφαίριο) και με κλίση ως προς το

οριζόντιο επίπεδο, β τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την περίοδο του έτους που ενδιαφέρει η χρησιμοποίηση του συλλέκτη.
Συγκεκριμένα:

- Για μέγιστη ετήσια ενέργεια απαιτείται κλίση συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος → β=φ
- Για μέγιστη ενέργεια κατά τη θερινή περίοδο απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους → β=φ-15°
- Για μέγιστη ενέργεια κατά τη χειμερινή περίοδο απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μεγαλύτερη του γεωγραφικού πλάτους → β=φ+15°
- Αποκλίσεις από τις παραπάνω τιμές προκαλούν μικρές μειώσεις της ενέργειας, πχ απόκλιση της κλίσης του συλλέκτη κατά ±15° μειώνει την ενέργεια κατά 5%.
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός του συλλέκτη είναι ο νότιος (γ=0°) για το βόρειο ημισφαίριο και ο βόρειος (γ=180°) για το νότιο ημισφαίριο, δηλαδή ο συλλέκτης πρέπει όπως προαναφέρθηκε να είναι στραμμένος προς τον Ισημερινό. Αποκλίσεις μέχρι 20° προκαλούν μικρές μειώσεις της προσπίπτουσας ενέργειας.

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η συμπεριφορά του συλλέκτη περιγράφεται από τη σχέση ισολογισμού ενέργειας που εκφράζει τον καταμερισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια, θερμικές και οπτικές απώλειες. [5]

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{p,m} - T_a)]$$

Όπου:

Q_u: Ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχυς (W)

A_c: Επιφάνεια του συλλέκτη (καλύμματος) (m^2)

S: Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά από τη προσπίπτουσα ακτινοβολία με τις οπτικές απώλειες (W/ m^2)

U_L: Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, που εκφράζει τις θερμικές απώλειες από το συλλέκτη στο περιβάλλον δια αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας (W/ m^{2o}C)

$T_{p,m}$: Μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα (^{o}C)

T_a: Θερμοκρασία περιβάλλοντος (^{o}C)

Η παραπάνω εξίσωση δεν είναι εύχρηστη για τον υπολογισμό της αποδιδόμενης ισχύος, διότι περιέχει τη μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα η οποία είναι εξαρτώμενη από τον τύπο του συλλέκτη, την προσπίπτουσα ακτινοβολία και τις συνθήκες εισόδου του ρευστού και είναι δύσκολο να υπολογισθεί ή να μετρηθεί.
Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί και με άλλους τρόπους ως εξής [5]:

$$Q_u = A_c \cdot S - Q_{L,th}$$

Όπου οι θερμικές απώλειες δίνονται από την ακόλουθη σχέση [5]:

$$Q_{L,th} = A_c \cdot U_L \cdot (T_{p,m} - T_a)$$

Η αναρροφούμενη ισχύς από τον απορροφητή είναι [5]:

$$S = (\tau\alpha) \cdot G_T$$

Όπου:

- τ → η διαπερατότητα του καλύμματος
- α → η απορροφητικότητα του απορροφητή
- G_T → η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

Σε αυτό το σημείο επαναλαμβάνεται ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία (άμεση και διάχυτη) που μπορεί να εκμεταλλευτεί ένας ηλιακός συλλέκτης είναι 1100W/m^2 περίπου αφού η μέγιστη ακτινοβολία που δίνει ο ήλιος είναι GSC=1353W/m^2.
Ο βαθμός απόδοσης η, του συλλέκτη είναι ο λόγος της ωφέλιμης αποδιδόμενης ενέργειας προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια [5]:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c\, G_T}$$

2.3 Συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη

Σε μια τυπική θέση του απορροφητήρα όπου η θερμοκρασία είναι T_p , η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία S ,κατανέμεται αφενός σε ωφέλιμη θερμική ισχύ Q_u ,και αφετέρου σε θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον , θερμοκρασίας T_a ,μέσω των καλυμμάτων, της μόνωσης του πυθμένα και της πλευρική μόνωσης του συλλέκτη. Ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη U_L αποτελείται από τρείς επιμέρους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας [5]:

- το συντελεστή θερμικών απωλειών κορυφής U_t ,
- το συντελεστή θερμικών απωλειών πυθμένα U_b ,
- το συντελεστή πλευρικών θερμικών απωλειών U_e .

Δηλαδή $U_L = U_t + U_b + U_e$

2.3.1 Συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής U_t .

Σε θερμικό κύκλωμα επίπεδου συλλέκτη δυο καλυμμάτων με αντιστάσεις αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας, οι συντελεστές h παριστάνουν τους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας δια συναγωγής μεταξύ των παράλληλων επιφανειών που ορίζουν οι δείκτες ή προς το περιβάλλον. Οι συντελεστές h με δείκτη r είναι οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας δια ακτινοβολίας μεταξύ των παράλληλων επιφανειών ή προς το περιβάλλον όπως ορίζουν οι δείκτες.
Οι θερμικές απώλειες κορυφής q_t είναι οι απώλειες δια συναγωγής και ακτινοβολίας από το κάλυμα κορυφής c_2 προς το περιβάλλων και είναι ίσες με τη μεταφερόμενη θερμική ισχύ δια συναγωγής και ακτινοβολίας από τον απορροφητήρα p, θερμοκρασίας T_p , προς το πρώτο κάλυμα c_1 , θερμοκρασίας T_{c1}. [5]

$$Q_t = (h_{p-c1} + h_{r,p-c1})(T_p - T_{c1}) = (1/R_3)(T_p - T_{c1})$$

$$h_{r,p-c1} = \sigma(T_p + T_{c1})(T_p^2 + T_{c1}^2)/(1/\varepsilon_p + 1/\varepsilon_c - 1)$$

και $\sigma = 5.6697 \times 10^{-8}$ W/ m^2K^4 είναι η σταθερά Stefan-Boltzmann, ενώ ε_p, ε_c είναι οι συντελεστές εκπομπής του απορροφητήρα και του καλύμματος αντίστοιχα. Τυπική τιμή για γυαλί είναι ε_c=0.88. Η τιμή του ε_p ποικίλει ανάλογα με τις ιδιότητες της επιφάνειας απορρόφησης. Μια ‘’επιλεκτική’’ επιφάνεια έχει υψηλή

απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία αλλά μικρό συντελεστή εκπομπής (ε_p=0.1) στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπει η επιφάνεια, μειώνοντας έτσι τις θερμικές απώλειες. Τυπική τιμή συντελεστή εκπομπής για ‘’μη επιλεκτική’’ επιφάνεια απορρόφησης είναι (ε_p=0.95).

Η θερμική αντίσταση R_3 μεταξύ του απορροφητήρα και του πρώτου καλύμματος είναι [5]:

$$R_3=1/ (h_{p-c1} + h_{r,p-c1})$$

Ανάλογες εκφράσεις μπορούν να γραφούν και για την αντίσταση R_2 , μεταξύ των δυο καλυμμάτων και την R_1 από το κάλυμμα κορυφής μέχρι το περιβάλλον [5]

$$R_2=1/ (h_{c1-c2} + h_{r,c1-c2}) , R_1=1/ (h_{c2-a} + h_{r,c2-a})$$

Όπου ο συντελεστής $h_{r,c1-c2}= \sigma(T_{c2}+ T_{c1}) (T_{c2}^2+ T_{c1}^2)/(1/\varepsilon_{c2}+1/ \varepsilon_{c1}-1)$ ενώ ο $h_{r,c2-a}$ που εκφράζει την συναλλαγή θερμότητας δι’ακτινοβολίας μεταξύ του καλύμματος κορυφής και του ουρανού θερμοκρασίας Ts(≈ Ta) δίνεται από τη σχέση [5]:

$$h_{r,c2-a}=\varepsilon_c \cdot \sigma(T_{c2}^4- Ts^4)/ (T_{c2}- Ts)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω για σύστημα δυο καλυμμάτων, ο συντελεστής θερμικών απωλειών U_t , από τον απορροφητήρα , θερμοκρασίας T_p, μέχρι το περιβάλλον θερμοκρασίας T_a είναι [5]:

$$U_t=1/(R_1+ R_2+ R_3)$$

Και οι απώλειες κορυφής εκφράζονται ως [5]:

$$Q_t= U_t \cdot (T_p- T_a)$$

Επειδή ως συνήθως είναι γνωστές μόνον οι θερμοκρασίες T_p και T_a η διαδικασία υπολογισμού του U_t είναι επαναληπτική ως εξής [5]:

1. Λαμβάνονται κατ’εκτίμηση οι θερμοκρασίες των δυο καλυμμάτων T_{c1}, T_{c2}
2. Υπολογίζονται όλοι οι συντελεστές h και ο U_t
3. Υπολογίζονται οι απώλειες κορυφής Q_t
4. Υπολογίζονται νέες τιμές των T_{c1}, T_{c2} λαμβάνοντας υπόψη ότι η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ δυο παράλληλων επιφανειών είναι ίση προς Q_t
5. Αν τα νέα T_{c1}, T_{c2} διαφέρουν από τις αρχικές αρχικές εκτιμήσεις, επαναλαμβάνουμε τους υπολογισμούς με τις νέες τιμές μέχρι συγκλίσεως

Για την απλούστευση των παραπάνω υπολογισμών αναπτύχτηκε από τον Klein(1979) η παρακάτω εμπειρική σχέση υπολογισμού του U_t [5]:

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_{p,m}}\left[\frac{T_{p,m}-T_a}{N+f}\right]} + \frac{1}{h_w}\right]^{-1} + \frac{\sigma \cdot \left(T_{p,m} + T_a\right) \cdot \left({T_{p,m}}^2 + {T_a}^2\right)}{\left(\varepsilon_p + 0.00591 \cdot N h_w\right)^{-1} + \frac{(2N + f - 1 + 0.133 \cdot \varepsilon_p)}{\varepsilon_c} - N}$$

Όπου:

N= πλήθος καλυμμάτων

$$f= (1+0.0089 \cdot h_w-0.1166 \cdot h_w \cdot \varepsilon_p)(1+0.07866N)$$

$C = 520(1-0.000051 \cdot \beta^2)$
$e = 0.43 \cdot (1-100/T_{p,m})$
β= κλίση συλλέκτη σε μοίρες
ε_p= συντελεστής εκπομπής του απορροφητήρα
ε_c= συντελεστής εκπομπής του γυαλιού (=0.88)
$T_{p,m}$= Μέση θερμοκρασία της πλάκας απορρόφησης ($\leq 473^oK$)
T_a= Θερμοκρασία περιβάλλοντος (^oK)
$h_w = h_{c2-a}$= συναγωγημότητα εξωτερικού καλύμματος

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμικών απωλειών κορυφής U_t μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα καλύμματα είναι αδιαπέραστα από τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (υπέρυθρο) που εκπέμπει η πλάκα απορρόφησης. Η υπόθεση αυτή είναι ορθή για γυάλινα καλύμματα αλλά όχι για πλαστικά, για τα οποία πρέπει να γίνει σχετική διόρθωση.

2.3.2 Συντελεστής θερμικών απωλειών πυθμένα U_b.

Στον πυθμένα του συλλέκτη εμφανίζονται εν σειρά η θερμική αντίσταση R_4 του μονωτικού και η θερμική αντίσταση συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον R_5. Επειδή συνήθως $R_4 \gg R_5$ θεωρούμε ότι $R_4+R_5 \approx R_4$, δηλαδή όλη η αντίσταση στη ροή θερμότητας οφείλεται στη μόνωση. Συνεπώς ο συντελεστής θερμικών απωλειών πυθμένα είναι [5]:

$$U_b = \frac{1}{R_4} = \frac{k}{L}$$

Όπου k και L είναι η θερμική αγωγιμότητα και το πάχος της μόνωσης, αντίστοιχα.

2.3.3 Συντελεστής πλευρικών θερμικών απωλειών U_e.

Υποθέτοντας μονοδιάστατη ροή θερμότητας κατά τη διεύθυνση του πάχους L_e, της πλευρικής μόνωσης, ο συντελεστής πλευρικών θερμικών απωλειών ανηγμένος στην πλευρική επιφάνεια A_e, είναι $U_e' = k/L_e$. Αν ο U_e' αναχθεί (όπως και ο U_τ και ο U_b) στην επιφάνεια του συλλέκτη A_c προκύπτει [5]:

$$Ue = Ue' \frac{A_e}{A_c} = \frac{k \cdot A_e}{L \cdot A_c}$$

2.4 Ο παράγοντας απόδοσης του συλλέκτη F'

Σύμφωνα με το σχήμα, η απόσταση των σωλήνων είναι W και η διάμετρος του D. Το πάχος του ελάσματος είναι δ και k είναι η θερμική αγωγιμότητα του ελάσματος. Η θερμική ισχύς ανά μονάδα μήκους του σωλήνα q_1' που οδεύει μέσω του ελάσματος στον σωλήνα υπολογίζεται ση θέση x = (W-D) / 2. [5]

$q_1' = (W-D)\, F\, [S - U_L (T_b - T_a)]$

$$F = \frac{\tanh \cdot [m \cdot \frac{(W-D)}{2}]}{m \cdot \frac{(W-D)}{2}}$$

Όπου $m = \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}}$

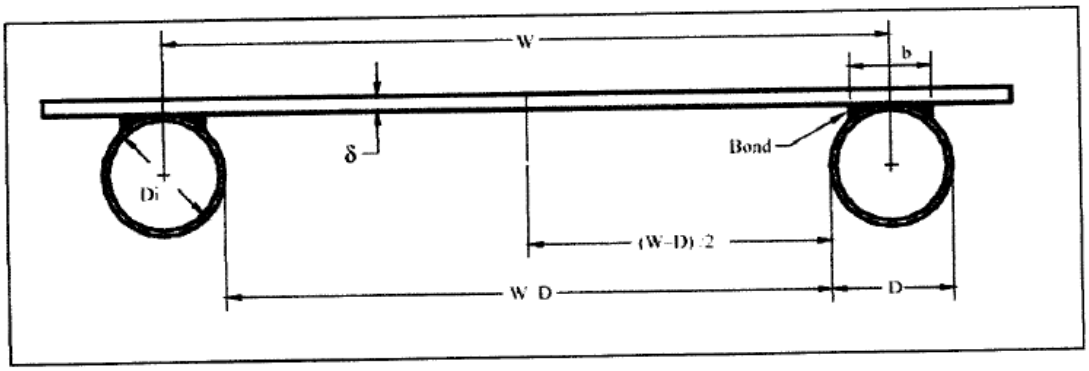
Ο σωλήνας δέχεται και την θερμική ισχύ q_2’ που προέρχεται από την απορροφώμενη ηλιακή ακτινοβολία στη περιοχή ακριβώς πάνω από το σωλήνα. [5]

$q_2' = D\,[S - U_L\,(T_b - T_a)]$

Η συνολική θερμική ισχύς που φτάνει στο σωλήνα ανά μονάδα μήκους είναι [5]:

$q_u' = q_1' + q_2' = [(W-D)\,F + D]\,[S - U_L\,(T_b - T_a)]$

$q_u' = W\,F'\,[S - U_L\,(T_f - T_a)]$



Σχήμα 2.5 Πλάκα απορρόφησης με σωλήνες σε τομή

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \cdot [\frac{1}{U_L \cdot [D + (W - D) \cdot \mathrm{F}]} + \frac{1}{\pi \cdot D_\mathrm{i} \cdot \mathrm{h_{f,i}}} + \frac{\gamma}{b \cdot \mathrm{k_b}}]}$$

Όπου:

D_i = εσωτερική διάμετρος του σωλήνα

$\mathrm{h_{f,i}}$ = συναγωγιμότητα του ρευστού μέσα στο σωλήνα

$\mathrm{k_b}$, b, γ = θερμική αγωγιμότητα, εύρος και πάχος συνδέσμου σωλήνα - ελάσματος

Το μέγεθος F’ ονομάζεται παράγοντας απόδοσης του συλλέκτη. Ο F’ παριστά το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης θερμικής ισχύος προς την θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν κάθε σημείο της πλάκας απορρόφησης είχε την αντίστοιχη θερμοκρασία του ρευστού. Μια άλλη φυσική ερμηνεία του F’ προκύπτει από το ότι ο παρονομαστής της εξίσωσης παριστάνει την ολική θερμική αντίσταση $1/U_o$, από το ρευστό μέχρι τον αέρα περιβάλλοντος. [5]

$$\mathrm{F'} = \frac{\frac{1}{U_L}}{\frac{1}{U_o}} = \frac{U_o}{U_L}$$

Δηλαδή ο F’ είναι ο λόγος της θερμικής αντίστασης από την πλάκα απορρόφησης μέχρι το περιβάλλον προς τη θερμική αντίσταση από το ρευστό μέχρι το περιβάλλον. Επειδή ο F’ έχει μικρή εξάρτηση από τη θερμοκρασία, μπορεί να θεωρηθεί σαν χαρακτηριστικό του συλλέκτη και της ροής.

2.5 Η εξίσωση του συλλέκτη, οι παράγοντες θερμικής απολαβής και ροής του συλλέκτη

Ο παράγοντας θερμικής απολαβής F_R, είναι ο λόγος της πραγματικής αποδιδόμενης θερμικής ισχύος, Q_u προς τη θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν ολόκληρος ο απορροφητήρας είχε την θερμοκρασία του ρευστού, $T_{f,i}$. [5]

$$F_R = \frac{Q_U}{A_c\,[S - U_L(T_{f,i} - T_a)]} = \frac{\dot{m}\,C_p\,(T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c\,[S - U_L(T_{f,i} - T_a)]}$$

Από την εξίσωση ορισμού του F_R προκύπτει η εξίσωση του επίπεδου συλλέκτη, η οποία δίνει την πραγματικά αποδιδόμενη θερμική ισχύ Q_u:

$$Q_u = A_c\,F_R\,[S - U_L(T_{f,i} - T_a)]$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι πολύ χρήσιμη διότι περιέχει τη γνωστή θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, $T_{f,i}$.

$$F_R = \frac{\dot{m}\,C_p}{A_c\,U_L}\left[1 - e^{-\frac{A_c\,U_L\,F'}{\dot{m}\,C_p}}\right] = \frac{\dot{m}\,C_p}{A_c\,U_L}\left[1 - e^{-\frac{1}{Z}}\right]$$

Όπου Z, είναι η αδιάστατη ανηγμένη παροχή :

$$z = \frac{\dot{m}\,C_p}{A_c\,U_L\,F'}$$

Ο παράγοντας ροής του συλλέκτη F’’

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\dot{m}\,C_p}{A_c\,U_L\,F'}\left[1 - e^{-\frac{A_c\,U_L\,F'}{\dot{m}\,C_p}}\right] = \frac{\dot{m}\,C_p}{A_c\,U_L F'}\left[1 - e^{-\frac{1}{Z}}\right]$$

Κεφάλαιο 3^{ο} Το παγκόσμιο πρόβλημα της έλλειψης πόσιμου νερού

3.1 Γενικά στοιχεία

Το νερό αναμφισβήτητα αποτελεί πηγή ζωής για τον πλανήτη και κινητήρια δύναμη του ανθρώπινου πολιτισμού. Από τα παγκόσμια αποθέματα νερού, υπολογίζεται ότι το 97% περίπου αποτελεί το νερό των ωκεανών, το οποίο κυρίως λόγω της αλατότητας του είναι σε πρώτη φάση ακατάλληλο προς χρήση από τους ανθρώπους. Το υπόλοιπο 8% είναι φρέσκο νερό, δυνητικό κατάλληλο για χρήση από τους ανθρώπους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του φρέσκου νερού (68,7% περίπου) βρίσκεται με τη μορφή παγετώνων στους πόλους και στις κορυφές των οροσειρών. 'ένα ποσοστό της τάξεως του 80,1% αποτελούν τα υπόγεια ύδατα, μόλις το 0,9% των παγκοσμίων αποθεμάτων φρέσκου νερού βρίσκεται σε λίμνες, ποτάμια, έλη κλπ. [24]

3.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι παγκόσμιο

Νερό. Όσοι το έχουμε, θεωρούμε την ύπαρξη του λίγο έως πολύ δεδομένη. Αλλά μία γρήγορη ματιά ανά τον κόσμο και κυρίως η ανάγνωση των στοιχείων που αφορούν τις μετρήσεις των αποθεμάτων φρέσκου νερού παγκοσμίως, αποδεικνύουν ότι τα τελευταία μειώνονται δραματικό. Και ο κίνδυνος δεν είναι μακροπρόθεσμος, αλλά βρίσκεται πλέον στο κατώφλι μας.

Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα παρουσιάζονται παρακάτω: [18]

- Στο Μέξικο Σίτυ, ο τοπικός πληθυσμός των 20 εκατομμυρίων κατοίκων αντιμετωπίζει οξύτατο πρόβλημα έλλειψης πόσιμου νερού, αφού αυτό καταναλώνεται με ρυθμούς κατά πολύ μεγαλύτερους από την αποκατάσταση του υδροφόρου στρώματος.
- Στην περιοχή της Μεσοποταμίας, η οποία υδροδοτείται κυρίως από τους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη, η απόφαση της Τουρκίας να κατασκευάσει φράγματα λόγω της λειψυδρίας, προκάλεσε την έντονη αντίδραση της Συρίας και του Ιράκ που έχουν σαν μοναδική πηγή φρέσκου νερού τους δύο αυτούς ποταμούς.
- Στην ξηρή και άνυδρη βόρεια Κίνα περίπου 300 πόλεις αντιμετωπίζουν πρόβλημα με τα αποθέματα φρέσκου νερού. Το πρόβλημα δημιουργήθηκε λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων αλλά και της υπερκατανάλωσης στις αγροτικές καλλιέργειες. Τώρα οι τοπικές αρχές περιορίζουν την χρήση νερού στα χωράφια με αποτέλεσμα πολλοί αγρότες να οδηγούνται στην οικονομική καταστροφή.
- Στην Ινδία του ενός και πλέον δισεκατομμυρίου κατοίκων τα σημαντικότερα υδροφόρα στρώματα υπόκεινται σε υπερεκμετάλλευση, ενώ λόγω μόλυνσης του φρέσκου νερού με το νερό άρδευσης το χώμα πλέον εμφανίζει πολὺ υψηλό ποσοστό αλατότητας και καθίσταται ακατάλληλο προς καλλιέργεια.
- Στο Ισραήλ, αν και χρησιμοποιούνται πολλές επαναστατικές τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού, η υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων στην

ακτογραμμή έχει σαν αποτέλεσμα να μολὺνεται το πόσιμο νερό με θαλόσσιο. Αντίστοιχα προβλήματα αντιμετωπίζει και η γειτονική Ιορδανία της οποίας κὺρια πηγή φρέσκου νερού είναι ο Ιορδάνης ποταμός.

- Στην Αίγυπτο της οποίας ο πληθυσμός αναμένεται να αγγίξει τα 1οο εκατομμύρια μέχρι το 2025, οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες. Η άρδευση στηρίζεται στις πλημύρες του Νείλου και στο φράγμα του Ασουάν στα νότια. Οποιαδήποτε εμπλοκή στη ροή του νερού από το Σουδάν και την Αιθιοπία (όπου και βρίσκονται οι πηγές του ποταμοὺ), θα οδηγήσουν την Αίγυπτο στη λιμοκτονία.

3.3 Τα αίτια της έλλειψης πόσιμου νερού

Σύμφωνα με ορισμένους επιστήμονες, η κυριότερη αιτία για την έλλειψη φρέσκου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο είναι το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης αλλιώς φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μία αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κυρίως στις ορεινές περιοχές μπορεί να αλλάξει την αναλογία πτώσης χιονοπτώσεων και βροχοπτώσεων, οδηγώντας σε περισσότερη βροχή και λιγότερο χιόνι. Αυτή η αλλαγή σημαίνει περισσότερες πλημμύρες και μεγαλύτερη απορροή κατά τη διάρκεια της περιόδου βροχών, ενώ λιγότερο νερό παραμένει με τη μορφή πάγου και χιονιού στα βουνό, προς χρήση κατά την περίοδο της ξηρασίας. Αυτοί λοιπόν οι παγετώνες των βουνών λιώνουν στο σύνολο τους. Για παράδειγμα η μάζα πάγου και χιονιού στα Ιμαλάια (η τρίτη μεγαλύτερη στον κόσμο μετά από αυτές των πόλων), αρχίζει να ελαττώνεται με επιταχυνόμενο ρυθμό. Το ανησυχητικό είναι ότι όλα τα μεγάλα ποτάμια Της Ασίας έχουν τις πηγές τους σε αυτήν την παγωμένη μάζα. Ήδη σε αυτούς τους ποταμούς παρατηρείται μια πτώση της στάθμης των υδάτων κατά 12-20%.

Η πληθυσμιακή αύξηση αποτελεί επίσης μια σημαντική αιτία έλλειψης φρέσκου νερού παγκοσμίως. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε ότι η ζήτηση φρέσκου νερού είναι άμεσα εξαρτημένη και μεταβάλλεται ανάλογα με τη δημογραφική αύξηση σε παγκόσμια κλίμακα. Οι περισσότερες προβλέψεις υπολογίζουν ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα σταθεροποιηθεί στα 8,5 με 9 δισεκατομμύρια ανθρώπους έως το 2050 ενώ το μεγαλύτερο μέρος της πληθυσμιακής αύξησης θα αφορά τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η αύξηση του πληθυσμού δεν πυροδοτεί μόνο Την κατανάλωση φρέσκου νερού για οικιακή χρήση, αλλά επιπλέον αυξάνει και την κατανάλωση για τις γεωργικές καλλιέργειες, για βιομηχανική χρήση, για την παραγωγή ενέργειας κλπ. Άλλωστε δεν είναι τυχαίο ότι ο τριπλασιασμός του παγκόσμιου πληθυσμού τον τελευταίο αιώνα συνοδεύτηκε από εξαπλασιασμό της κατανάλωσης φρέσκου νερού. [24]

Υψηλότερα εισοδήματα σημαίνουν μεγαλύτερη κατανάλωση αγαθών, η παραγωγή των οποίων απαιτεί νερό. Τα εισοδήματα αυξάνουν σε ορισμένες χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία, παράλληλα με την οικονομική ανάπτυξη και η αποσύνδεση τους από την κατανάλωση νερού αποτελεί μεγάλη πρόκληση για το μέλλον.

Η αστυφιλία είναι και αυτή μια δημογραφική παράμετρος που οδηγεί σε αλόγιστη χρήση νερού. Το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού που κατοικεί στις πόλεις, από

14% που ήταν το 1900 έφτασε στο 29% στα 1950 και αναμένεται να ξεπεράσει το 60% μέχρι το 2080. Η αστυφιλία είχε δύο πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην χρήση φρέσκου νερού. Καταρχήν πολλές πόλεις εκτρέπουν τους τεράστιους όγκους των επιφανειακών υδάτων ή υπερεκμεταλλεύονται τα υδροφόρα στρώματα, ενώ και τα μη επεξεργασμένα λύματα από αυτές αποτελούν πολύ σημαντική εστία ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Όπως είναι φυσιολογικό ένας πληθυσμός συνεχώς αυξανόμενος καταναλώνει περισσότερη τροφή, για την παραγωγή της οποίας απαιτούνται όλο και μεγαλύτεροι όγκοι φρέσκου νερού. Άρα η αλόγιστη χρήση του φρέσκου νερού στις αγροτικές καλλιέργειες, στην κτηνοτροφία, στο εμπόριο αποτελεί σημαντική αιτία της παρατηρούμενης μείωσης των αποθεμάτων. Η βασισμένη στην άρδευση γεωργία, έχει καλύψει το 80% της αύξησης στη ζήτηση τροφής παγκοσμίως από το 1960 μέχρι σήμερα. Στις περισσότερες περιοχές η εκτροπή της ροής των ποταμών, οι γεωτρήσεις για την εξαγωγή υπόγειων υδάτων και η αυξημένη δυνατότητα αποθήκευσης του νερού καθιστούν την άρδευση εφικτή. Σε αρκετές περιπτώσεις όμως η άρδευση πραγματοποιείται με εξαιρετικά αντιοικονομικό τρόπο. Για παράδειγμα στον Σενεγάλη ποταμό στην κεντρική Αφρική, ποσοστό μικρότερο του 50% του νερού χρησιμοποιείται αποδοτικό στις καλλιέργειες ρυζιού και καλαμποκιού. Οι περισσότεροι καλλιεργητές δεν κατανοούν το οικονομικό κόστος της σπατάλης νερού ή δεν διαθέτουν τα απαραίτητα κεφάλαια για την βελτίωση των τεχνολογιών άρδευσης. Όσον αφορά το εμπόριο αυτό παρέχει και δυνατότητες αλλά και κινδύνους για τα παγκόσμια αποθέματα νερού. Από τη μία μπορεί να προωθήσει την πιο αποτελεσματική χρήση του νερού για την παραγωγή προϊόντων, από την άλλη όμως οι αυξανόμενες τιμές στις εξαγωγές αγροτικών προϊόντων και η απελευθέρωση του παγκοσμίου εμπορίου μπορεί να οδηγήσουν στην εξάπλωση μεθόδων άρδευσης που απαιτούν υψηλές ποσότητες φρέσκου νερού.

Τέλος δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι σχεδόν το 20% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού, προέρχεται από υδροηλεκτρικό εργοστάσια, ενώ υπάρχει και προοπτική περεταίρω αύξησης ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Παρά το γεγονός ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το επίκεντρο σε πολλά προγράμματα τοπικής και περιφερειακής ανάπτυξης, πολλές φορές οδηγούμαστε σε πολύ υψηλό περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό κόστη. Στην ακτή της Σομαλίας για παράδειγμα, λιγότερο από το 50% της παραγόμενης ενέργειας αξιοποιείται κι όμως το αντίκτυπο στα αποθέματα φρέσκου νερού είναι ήδη ορατό. Ανάλογα προβλήματα αντιμετωπίζουν και χώρες όπως η Κίνα, το Λάος και η Καμπότζη όπου νέα υδροηλεκτρικό εργοστάσια έχουν ήδη παραδοθεί ή πρόκειται να παραδοθούν τα αμέσως επόμενα χρόνια.

3.4 Οι επιπτώσεις από την έλλειψη πόσιμου νερού

Σήμερα υπολογίζεται ότι περίπου 1.1 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό. Τα Ηνωμένα Έθνη βέβαια υπολογίζουν σε 2,6 δισεκατομμύρια τους ανθρώπους που δεν διαθέτουν νερό κατάλληλο για απολύμανση. Τα δύο ζητήματα είναι αλληλένδετα μεταξύ τους, αφού έλλειψη νερού για απολύμανση επέρχεται μόλυνση και του πόσιμου νερού από τα απόβλητα.

Άμεσο αποτέλεσμα είναι οι ασθένειες και οι θάνατοι ανθρώπων που χρησιμοποιούν μολυσμένα αποθέματα νερού. Οι ασθένειες πλήττουν κυρίως τους πληθυσμούς του λεγόμενου τρίτου κόσμου, όπου υπολογίζεται ότι περίπου 8900 παιδιά πεθαίνουν κάθε μέρα από διάρροια λόγω μη ύπαρξης πηγών φρέσκου πόσιμου νερού.
Επιπλέον με δεδομένο ότι παγκοσμίως υπάρχουν περίπου 260 ποτάμια με τα από τα οποία υδροδοτούνται με φρέσκο νερό πάρα πολλές χώρες, είναι φυσικό να αναπτύσσονται διαμάχες μεταξύ αυτών για τον έλεγχο των υδάτινων αποθεμάτων. Ήδη έχουμε αναφέρει την περίπτωση των ποταμών Τίγρης και Ευφράτης οι οποίοι παρέχουν νερό σε Τουρκία, Συρία και Ιράκ. Το γεγονός ότι οι ανάγκες των τριών αυτών χωρών είναι πολύ μεγαλύτερες από τα αποθέματα των ποταμών αποτελεί αιτία έντασης και διαμάχης. Ανάλογα περιστατικό προέκυψαν μεταξύ Ουγγαρίας και Τσεχίας για τα νερό του Δούναβη, μεταξύ Βορείου και Νοτίου Κορέας, Ισραήλ και Παλαιστίνης, Αιγύπτου και Αιθιοπίας κλπ.
Σημαντική είναι και η έλλειψη φρέσκου νερού για την χλωρίδα και την πανίδα, δηλαδή το οικοσύστημα. Λίμνες, ποτάμια, ρέματα, βάλτοι είναι προφανώς άμεσα εξαρτημένα από την διαθεσιμότητα νερού, αλλά το ίδιο συμβαίνει και με τα δάση και άλλα πιο ορεινά οικοσυστήματα τα οποία αντιμετωπίζουν σημαντικές μεταβολές στην παραγωγικότητα όσο τα αποθέματα νερού ελαττώνονται. Στην Ευρώπη η ραγδαία εξαφάνιση των υγροτόπων είχε σαν αποτέλεσμα ανάλογη μείωση στην βιοποικιλότητα. Για παράδειγμα στην Σκωτία, στην περιοχή του Αμπερντήν η ξήρανση των βάλτων είχε σαν αποτέλεσμα την εξαφάνιση πολλών ειδών, μεταξύ των οποίων και ένα σπάνιο είδος χήνας.
Τέλος φαινόμενα όπως η μετανάστευση, οι πλημμύρες λόγω διάβρωσης και η φτώχεια θα κλιμακωθούν τα επόμενα χρόνια ακριβώς λόγω της εξάντλησης των αποθεμάτων φρέσκου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο. [19]

3.5 Μέθοδοι αντιμετώπισης της λειψυδρίας

Οι ειδικοί σε θέματα περιβάλλοντος και νερού, κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου για την ανάγκη έναρξης μιας παγκόσμιας «Μπλε Επανάστασης», μέσω της οποίας θα επιτευχθεί η συντήρηση και η καλύτερη διαχείριση των αποθεμάτων φρέσκου νερού υπό το πρίσμα της αυξανόμενης ζήτησης αλλά και της περιβαλλοντικής μόλυνσης. Μπορεί για ορισμένες χώρες με ραγδαία πληθυσμιακή αύξηση, να είναι ήδη πολύ αργά για να αποφύγουν την κρίση, εντούτοις η «Μπλε Επανάσταση » είναι απαραίτητη για να κατευθύνει τις λύσεις για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας σε τοπικό, εθνικό ακόμα και υπερεθνικό επίπεδο. Τέτοιου είδους στρατηγικές διαχείρισης θα περιλαμβάνουν τον καθαρισμό και την επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων, την βελτίωση της απόδοσης των τεχνολογιών άρδευσης, την οικονομία στη χρήση νερού για βιομηχανικές εφαρμογές, τον περιορισμό της αλόγιστής χρήσης νερού εντος και εκτός οικίας η ακόμα και τη χρήση φυτών με μικρές ανάγκες σε νερό και αντοχή στην ξηρασία και υλικών που έχουν την ικανότητα να διατηρούν την υγρασία. Σε εθνικό επίπεδο η δημιουργία ενός ενιαίου φορέα διαχείρισης των υδάτινων αποθεμάτων κρίνεται απαραίτητη.
Για την ενίσχυση των αποθεμάτων φρέσκου νερού σε παγκόσμια κλίμακα, μια τεχνολογικό εφικτή και συμφέρουσα λύση είναι και η αφαλάτωση, ουσιαστικά η

διαδικασία μετατροπής του νερού των ωκεανών σε πόσιμο και κατάλληλο για χρήση. Με δεδομένο ότι, όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή, το 97% του νερού στον πλανήτη είναι θαλάσσιο, η αφαλάτωση φαντάζει ως η μοναδική λύση για ουσιαστική αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας σε παγκόσμιο επίπεδο.

3.6 Η αφαλάτωση και το πρόβλημα της ενέργειας

Η λύση που φαίνεται να είναι οικονομικά και τεχνικά εφικτή στο πρόβλημα της λειψυδρίας είναι να παραχθεί πόσιμο νερό από αλμυρό με τη μέθοδο της αφαλάτωσης. άρχισε να αναπτύσσεται σαν τεχνολογία μεγαλύτερης κλίμακας από το 19" αιώνα.

Το σημαντικότερο πρόβλημα της αφαλάτωσης είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια. Ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια έχουν αντίστοιχα οι θερμικές μέθοδοι. Επιδιώκοντας να εξασφαλιστεί η αυτονομία του νησιού σε πόσιμο νερό η αφαλάτωση αυξάνει την εξάρτηση του σε πετρέλαιο και μαζούτ, καθότι τόσο η ηλεκτροπαραγωγή (που απαιτείται για κάθε μέθοδο αφαλάτωσης υπολογίσιμης κλίμακας) όσο και η παραγωγή θερμότητας που απαιτείται για τις θερμικές μεθόδους χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ή το μαζούτ ως πηγή ενέργειας. Η αιτία του προβλήματος έγκειται στο ότι η Κύπρος δεν έχουν ενεργειακή αυτονομία και καλύπτει τις ανάγκες τους σε ηλεκτρισμό με εισαγόμενα καύσιμα πράγμα πολύ δαπανηρό.

Μια άλλη πιθανή λύση είναι η συμπαραγωγή νερού και ενέργειας αξιοποιώντας το waste heat των εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας για θερμική αφαλάτωση. [20]

3.7 Η σημερινή κατάσταση στη Κύπρο

Το πρόβλημα της ανομβρίας στη Κύπρο είναι τόσο παλαιό όσο και η σύγχρονη ιστορία της αφού με τη δημιουργία της Κυπριακής Δημοκρατίας αποφασίστηκε η διεξαγωγή μελετών που σχετίζονταν με τον προγραμματισμό της ανάπτυξης και κατασκευής έργων και τη διαμόρφωση βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων σχεδίων δράσης. Λόγο της μεγάλης σημασίας που δόθηκε και συνεχίζει να δίνεται στην ορθολογιστική αξιοποίηση των υδατικών πόρων είναι η σημερινή αποθηκευτική ικανότητα των φραγμάτων που ανέρχεται στα 332 $x10^6m^3$ νερού, σε σύγκριση με 6 $x10^6m^3$ που ήταν το 1960. Η Κύπρος κατατάσσεται πρώτη στον ευρωπαϊκό χώρο όσον αφορά τον αριθμό και τη χωρητικότητα μεγάλων φραγμάτων, σε σχέση με την έκταση του νησιού με αναλογία πενήντα μεγάλα φράγματα για κάθε 10 000 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Ωστόσο η Κύπρος υποφέρει από όλο και πιο συχνές ανομβρίες με όλο και μεγαλύτερη διάρκεια. Η ετήσια κατανάλωση νερού για ύδρευση είναι περίπου 75 $x10^6m^3$ και ενώ η χωρητικότητα των φραγμάτων μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες σε νερό για 3-4 χρόνια, τα τελευταία χρόνια έχουν μειωθεί τόσο πολύ που δεν γεμίζουν τα φράγματα. Οι ανομβρίες έχουν διάρκεια 2-3 συνεχόμενων χρονιών με αποτέλεσμα να αδειάζουν τα φράγματα. Με χειρότερη χρονιά το 2008 όπου δεν μπορούσαν να καλυφθούν οι ανάγκες σε νερό ύδρευσης ούτε από τα φράγματα, ούτε από τις μονάδες αφαλάτωσης. Με αποτέλεσμα να έχουμε πάρα πολλές ώρες διακοπής του τρεχούμενου νερού. Λόγο αυτής της έκτακτης ανάγκης αποφασίστηκε

η μεταφορά νερού από την Ελλάδα, με κόστος 35 εκατομμυρίων ευρώ για 8 x$10^6 m^3$ νερού, δηλαδή 4,375 €/ m^3. [15]

Μονάδες Αφαλάτωσης

Αρχικά, κατασκευάστηκε η Μονάδα Αφαλάτωσης Δεκέλειας η οποία λειτούργησε τον Απρίλιο του 1997 και είχε δυναμικότητα 40.000 κυβικά μέτρα νερού την ημέρα. Η Μονάδα αυτή εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες της Ελεύθερης περιοχής Αμμοχώστου και μέρος των αναγκών της Λάρνακας και της Λευκωσίας. Η Μονάδα από τον Ιούλιο του 2008 επεκτάθηκε κατά 10.000 m^3/ημέρα και από τον Απρίλιο 2009 κατά ακόμα 10.000m^3/ημέρα, ούτως ώστε η συνολική παραγωγή να είναι σήμερα 60.000 m^3/ημέρα.

Η Μονάδα Αφαλάτωσης Λάρνακας λειτούργησε τον Ιούνιο 2001 και είχε δυναμικότητα 52.000 κυβικά μέτρα νερού την ημέρα. Η Μονάδα επεκτάθηκε κατά 10.000 m^3/ημέρα και από τον Ιανουάριο 2009 η δυναμικότητα της έφτασε στις 62.000 m^3/ημέρα. Η Μονάδα Αφαλάτωσης Λάρνακας μαζί με τη Μονάδα Αφαλάτωσης της Δεκέλειας καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες των Επαρχιών Λευκωσίας, Λάρνακας και Αμμοχώστου.

Τον Δεκέμβριο του 2008 ολοκληρώθηκε η κατασκευή της Κινητής Μονάδας Αφαλάτωσης Μονής η οποία παράγει 20.000 m^3/ημέρα. Η Μονάδα αυτή εξυπηρετούσε τις ανάγκες της Λεμεσού μέχρι το τέλος του 2011. Επίσης, τον Ιανουάριο 2009 ξεκίνησε τη λειτουργία της η Κινητή Μονάδα Επεξεργασίας νερού του Υδροφορέα του ποταμού Γαρύλλη δυναμικότητας 10.000 m^3/ημέρα για τις υδρευτικές ανάγκες τις Λεμεσού. Η διάρκεια του Συμβολαίου είναι πέντε χρόνια.

Για την κάλυψη των αναγκών της Επαρχίας Λεμεσού για τα επόμενα είκοσι χρόνια αποφασίστηκε η κατασκευή μόνιμης Μονάδας στην περιοχή Ακρωτηρίου-Επισκοπής δυναμικότητας 40.000 m^3/ημέρα με δυνατότητα επέκτασης στα 60.000m^3/ημέρα.

Για κάλυψη των αναγκών της Επαρχίας Πάφου έχει κατασκευαστεί στην περιοχή Κουκλιών Κινητή Μονάδα Αφαλάτωσης δυναμικότητας 30.000 m^3/ημέρα. Η Μονάδα τέθηκε σε λειτουργία το Νοέμβριο 2010 και η διάρκεια του Συμβολαίου είναι τρία χρόνια. Η κατασκευή μόνιμης Μονάδας στην Πάφο βρίσκεται υπό μελέτη.

Το ΤΑΥ έχει υπογράψει συμφωνία με την ΑΗΚ για την αγορά αφαλατωμένου νερού από μονάδα αφαλάτωσης στην περιοχή Βασιλικού η οποία ξεκίνησε την λειτουργία της τον Φεβρουάριο 2012 και είναι δυναμικότητας 60.000 m^3/ημέρα.

Κατασκευή-Συμβόλαια

Οι Μονάδες Αφαλάτωσης κατασκευάζονται με τη μέθοδο της αυτοχρηματοδότησης μετά από Διαγωνισμό που προκηρύσσει το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων . Σύμφωνα με το Συμβόλαιο που είναι τύπου BOOT (Built, Own, Operate and Transfer), οι Εργολάβοι/Επενδυτές που ανέλαβαν την κατασκευή της κάθε Μονάδας έχουν επωμιστεί όλα τα έξοδα για την κατασκευή των έργων πολιτικής μηχανικής, την

προμήθεια και εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και γενικά την εκτέλεση όλων των απαραίτητων εργασιών για την ολοκλήρωση των έργων. Ακολούθως λειτουργούν τις Μονάδες με δικά τους έξοδα για συγκεκριμένη περίοδο 10 ή 20 χρόνων και πωλούν το παραγόμενο νερό στη Κυβέρνηση σε καθορισμένη τιμή με βάση την οποία κέρδισαν τον Διαγωνισμό. Η Κυβέρνηση έχει αναλάβει την υποχρέωση να παραλαμβάνει μια ελάχιστη ποσότητα νερού για την καθορισμένη διάρκεια του Συμβολαίου. Μετά την παρέλευση της περιόδου αυτής, οι Μονάδες περιέρχονται αυτόματα στην κυριότητα της Κυβέρνησης, ενώ παρέχεται το δικαίωμα εξαγοράς των Μονάδων πριν τη συμπλήρωση της περιόδου αυτής.

Το Συμβόλαιο για την κατασκευή και λειτουργία της Μονάδας Αφαλάτωσης Δεκέλειας ανατέθηκε το 1996 στην τιμή των £0,54 ανά κυβικό μέτρο νερού, ενώ το 1999 ανατέθηκε η Μονάδα Αφαλάτωσης Λάρνακας στην τιμή των £0,399 ανά κυβικό μέτρο. Η διαφορά στην τιμή αγοράς του νερού από την Κυβέρνηση οφείλεται στο γεγονός ότι με την πρόοδο της τεχνολογίας το κόστος της παραγωγής αφαλατωμένου νερού διεθνώς παρουσιάζει μείωση.

Η Μονάδα Αφαλάτωσης Δεκέλειας εξαγοράστηκε από την Κυβέρνηση το 2005 κάνοντας χρήση του σχετικού όρου του Συμβολαίου. Ακολούθως, η Κυβέρνηση προχώρησε στην προκήρυξη Διαγωνισμού για την Ανακαίνιση, Λειτουργία, Συντήρηση και Πώληση νερού στο ΤΑΥ για περίοδο 20 ετών. Το Συμβόλαιο ανατέθηκε στην τιμή των £0,376/m^3. Η 20ετής περίοδος ξεκίνησε το Μάιο του 2007 και θα λήξει τον Μάιο του 2027.

Το Συμβόλαιο για την Κινητή Μονάδα Αφαλάτωσης στην Μονή ανατέθηκε στην τιμή των €1,387/m^3. Το Συμβόλαιο αυτό έληξε το Δεκέμβρη του 2011 οπότε και ο Εργολάβος απομάκρυνε τη Μονάδα.

Το Συμβόλαιο για τη Μονάδα Επεξεργασίας νερού του Υδροφορέα του ποταμού Γαρύλλη ανατέθηκε στην τιμή των €0,2992/m^3. Αυτό το Συμβόλαιο είναι 5ετούς διάρκειας. (Ιανουάριος 2009 – Ιανουάριος 2014).

Το Συμβόλαιο για την κινητή Μονάδα Αφαλάτωσης Πάφου ανατέθηκε στην τιμή των €1,219 ανά κυβικό μέτρο. Η λειτουργία άρχισε το Νοέμβριο 2010 και θα διαρκέσει 3 χρόνια.

Στις 7/8/2009, υπογράφτηκε το Συμβόλαιο για την κατασκευή και λειτουργία της Μονάδας Αφαλάτωσης Λεμεσού. Και η τιμή του Συμβολαίου είναι € 0,8725/m^3 . Η Μονάδα αυτή ξεκίνησε τη λειτουργία της το τέλος του 2012 και παράγει 40.000 m^3/ημέρα με δυνατότητα επέκτασης στα 60.000 m^3/ημέρα. Το Συμβόλαιο αυτό προνοεί 20ετή λειτουργία και αναμένεται να λήξει το 2032.

Στα Συμβόλαια υπάρχουν πρόνοιες που αναπροσαρμόζουν τις τιμές αυτές λαμβάνοντας υπόψη τις αυξομειώσεις της τιμής του πετρελαίου και άρα του

ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και τις αυξήσεις στα εργατικά κόστη. Επίσης, υπάρχουν πρόνοιες για μείωση της παραγωγής στο τεχνικό ελάχιστο της Μονάδας. Αυτή η τελευταία πρόνοια θα τεθεί σε εφαρμογή σε περιπτώσεις πολυομβρίας όπου το νερό των φραγμάτων θα ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό τη ζήτηση. [16]

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΑΡΧΙΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ Κυβικά μέτρα/ημέρα
ΔΕΚΕΛΕΙΑ	Απρίλιο 1997	60,000
ΛΑΡΝΑΚΑ	Ιούνιο 2001	62,000
ΕΠΙΣΚΟΠΗ	Δεκέμβριο 2012	40,000
ΒΑΣΙΛΙΚΟ (ΑΗΚ)	2014	60,000
ΣΥΝΟΛΟ		222,000

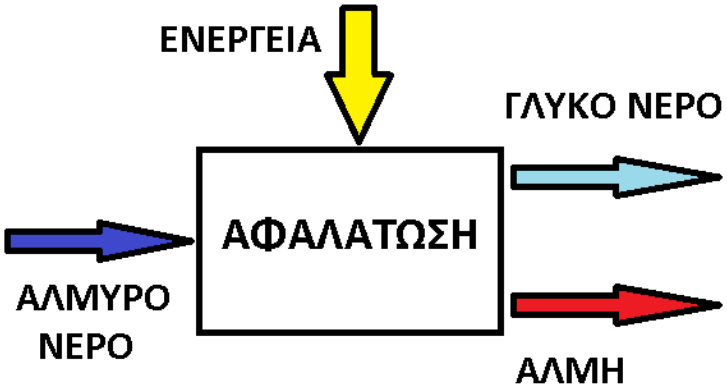
Πίνακας 3.1 Μονάδες αφαλάτωσης στη Κύπρο [17]

Με τη συνολική εγκατεστημένη να είναι στα 222,000 m^3/ ημέρα που ισοδυναμεί με 81 $x10^6$ m^3/χρόνο περίπου, και μπορούν να καλυφτούν όλες οι ανάγκες σε ύδρευση μόνο με τη χρήση αφαλατωμένου νερού εφόσον παρουσιαστεί αυτή η ανάγκη.

Κεφάλαιο 4ο Αφαλάτωση

4.1 Γενικά περί αφαλάτωσης

Ο όρος αφαλάτωσης περιγράφει μια διαδικασία στην οποία απομακρύνουμε τις διάφορες ανεπιθύμητες ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες σε μια ποσότητα νερού. Η κυριότερη ουσία που απαιτείται να απομακρύνει είναι το κοινό επιτραπέζιο αλάτι (NaCl).



Εικόνα 4.1 Η βασική αρχή λειτουργίας της αφαλάτωσης [25]

Η αφαλάτωση χρησιμοποιεί ενέργεια (θερμική ή/και ηλεκτρική) για να διαχωρίσει το εισερχόμενο θαλασσινό νερό σε πόσιμο νερό και σε υψηλής συγκέντρωσης άλμη, που είναι απόβλητο της διαδικασίας. [26]

Οι διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, στις θερμικές μεθόδους και στις μεθόδους μεμβρανών.

Οι θερμικές μέθοδοι στηρίζονται στην αλλαγή φάσης για το διαχωρισμό του νερού από το αλάτι. Ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει είτε μέσω της εξάτμισης του νερού και της εκ των υστέρων συμπύκνωσής του, είτε μέσω της στερεοποίησης του νερού σε μορφή πάγου και της ακόλουθης υγροποίησης του. Χαρακτηριστικά οι μέθοδοι αυτοί έχουν απλή λειτουργία απαιτούν λιγότερο σύνθετες κατασκευές και εξελιγμένη τεχνολογία από αυτές των μεμβρανών. [28]

Το μειονέκτημα των θερμικών μεθόδων είναι οι υψηλές απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια. Η απόδοση τους μετράται με δύο κύριες παραμέτρους: Το Gain Output Ratio (GOR) (ή Performance Ratio), που ορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας παραγόμενου νερού προς τον λόγο αρχικού καταναλισκόμενου ατμού δηλαδή είναι θερμικός βαθμός απόδοσης, και η ειδική κατανάλωση ενέργειας, που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας προς το παραγόμενο νερό δηλαδή (kWh_{th}/m^3).

Οι μέθοδοι που βασίζονται σε μεμβράνες στηρίζονται στην επιλεκτικότητα των μεμβρανών μέσω της οποίας μπορούν να διαχωρίσουν τα άλατα από το νερό όταν αυτό διέρχεται μέσα από αυτές. Χωρίζονται επίσης σε δυο κατηγορίες: Τις μεθόδους που λειτουργούν με υψηλή πίεση (π.χ. αντίστροφη όσμωση) και τις μεθόδους που λειτουργούν με βάση τη διάφορα ηλεκτρικού δυναμικού (όπως η ηλεκτροδιάλυση). [21]

Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος παγκοσμίως είναι η αντίστροφη όσμωση (ΠΟ). Οι θερμικές μέθοδοι έχουν ευρεία χρήση στην Μέση Ανατολή, όπου αφθονούν οι πηγές θερμικής ενέργειας με χαμηλό κόστος (πετρέλαιο, ηλιακή ακτινοβολία) ενώ το τροφοδοτικό νερό είναι κατά κανόνα εξαιρετικά αλμυρό (42000-51000 ppm) και σε υψηλότερη θερμοκρασία, δημιουργώντας προβλήματα στην χρήση της αντίστροφης όσμωσης λόγω διακριτικότητας. [27]

4.2 Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis)

Η μέθοδος αυτή είναι σήμερα η κυρίαρχη στην βιομηχανία της αφαλάτωσης. Στη μέθοδο αυτή αναπτύσσεται υψηλή πίεση στο νερό το οποίο στη συνέχεια περνάει από ειδικές μεμβράνες, των οποίων το μοριακό πλέγμα επιτρέπει στα μόρια του νερού να περνάνε ενώ εμποδίζει τη διέλευση στα ιόντα του αλατιού.

Η όσμωση είναι το Φαινόμενο στο οποίο δυο διαλύματα που έχουν διαφορετική συγκέντρωση αλάτων και διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη τείνουν να ανταλλάξουν μόρια νερού μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις τους.

Αυτό επιφέρει την αύξηση του όγκου του νερού από τη μεριά του διαλύματος προς την μεριά που αρχικά είχε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Συνεπώς κατά την όσμωση δημιουργείται πίεση.

Εάν ασκηθεί τεχνητά πίεση από τη μεριά του αλμυρότερου διαλύματος το Φαινόμενο θα λειτουργήσει αντίστροφα, προκαλώντας ροή νερού προς το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση, παράγοντας έτσι νερό χαμηλότερο σε αλατόμητα. Το Φαινόμενο αυτό λέγεται αντίστροφη όσμωση και η είναι η βάση της μεθόδου αυτής. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να αφαιρεθούν μέχρι και το 99,5% των διαλυμένων ιόντων του τροφοδοτικού νερού.

Η απόδοση της μεθόδου αυτής καθορίζεται από την πίεση λειτουργίας και το ποσοστό ανάκτησης νερού ($\frac{\text{kg προϊόντος}}{\text{kg τροφοδοτικού νερού}}$), και επηρεάζεται πάρα πολύ από την αλατότητα του τροφοδοτικού νερού. Για υφάλμυρο νερό το ποσοστό ανάκτησης είναι 75-85% και η πίεση λειτουργίας 15 bar, ενώ για θαλασσινό νερό οι αντίστοιχες τιμές είναι 40-50% και 60-80 bar. Η πίεση λειτουργίας καθορίζει το ειδικό κόστος ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς το 80% της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται στις αντλίες υψηλής πίεσης.

Η μέθοδος αυτή απαιτεί περίπου 3,5-7 kWh/m^3 ηλεκτρικής ενέργειας και δεν απαιτεί θερμική ενέργεια. Χρησιμοποιώντας τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες η τιμή αυτή μπορεί να πέσει και κάτω των 2 kWh/m^3 , με αντίκτυπο όμως στα κόστη κατασκευής.

Η μέθοδος έχει υπολογίσιμα κόστη συντήρησης γιατί οι μεμβράνες θέλουν αντικατάσταση κάθε 3-5 χρόνια και μπορούν να κοστίσουν το 5%-20% του αρχικού κόστους. Επίσης θέλει υπολογίσιμη προ-επεξεργασία του νερού, που αυτής περιλαμβάνει τη χρήση θειικού οξέως, καυστικής σόδας, χλωρίου και αφαιρετικών χλωρίου (πχ διθειούχο νάτριο). Η απόδοση της μεθόδου επηρεάζεται πολύ από την αλατότητα του νερού.

Αφαλάτωση αντίστροφης όσμωσης με «απλή διέλευση» παράγει νερό με 500 TDS. Σε θαλασσινό νερό με 35000 TDS η συγκέντρωση σε NaCl είναι περίπου 30200 ppm

(86.2% του συνολικού), που σημαίνει ότι αν η κατακράτηση των μεμβρανών είναι ίση σε όλα τα στοιχεία, παράγουμε νερό με 431 ppm NaCl. Αυτή η συγκέντρωση δεν ενδείκνυται για μακροπρόθεσμη χρήση γιατί κάνει το νερό ανθυγιεινό. Πολύ καλύτερη ποιότητα νερού μπορεί να φέρει η αντίστροφη όσμωση «τριπλής διέλευσης», με μεγαλύτερο όμως κόστος.

4.3 Θερμικές Μέθοδοι

Η βασική τους αρχή είναι η απόσταξη. Προσδίδουμε θερμότητα στο νερό ώστε να εξατμιστεί, αφήνοντας πίσω τα διαλυμένα στερεά. Γενικά οι μέθοδοι αυτοί δίνουν νερό υψηλότερης καθαρότητας από τις μεθόδους που στηρίζονται στις μεμβράνες αλλά έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις.

4.3.1 Multi Stage Flashing (Πολυβάθμια εκτόνωση)

Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η ακόλουθη:

Το τροφοδοτικό νερό θερμαίνεται μέχρι λίγο πριν το σημείο κορεσμού και στη συνέχεια εισάγεται στην πρώτη βαθμίδα της μονάδας, στην οποίο υπάρχει υποπίεση, προκαλώντας την ατμοποίηση μέρους του νερού. Ο ατμός αυτός εν συνεχεία ψύχεται κατά την επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το τροφοδοτικό νερό.

Το μέρος του τροφοδοτικού νερού που δεν εξατμίστηκε παίρνει τη μορφή συμπυκνωμένης άλμης, η οποία οδηγείται στην επόμενη βαθμίδα, στην οποία η πίεση είναι ακόμα χαμηλότερη από αυτή της προηγούμενης, προκαλώντας την εξάτμιση μιας ακόμα ποσότητας νερού.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι την τελευταία βαθμίδα της μονάδας, με διαδοχική πτώση θερμοκρασίας και πίεσης σε κάθε μια. Στην έξοδο της τελευταίας η άλμη απορρίπτεται.

Η μέθοδος αυτή καθαρίζει το νερό μέσω της απόσταξης και στηρίζεται στην ανάκτηση λανθάνουσας θερμότητας για να εξασφαλίσει την απόδοσή της. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ανάλογη του αριθμού των βαθμίδων.

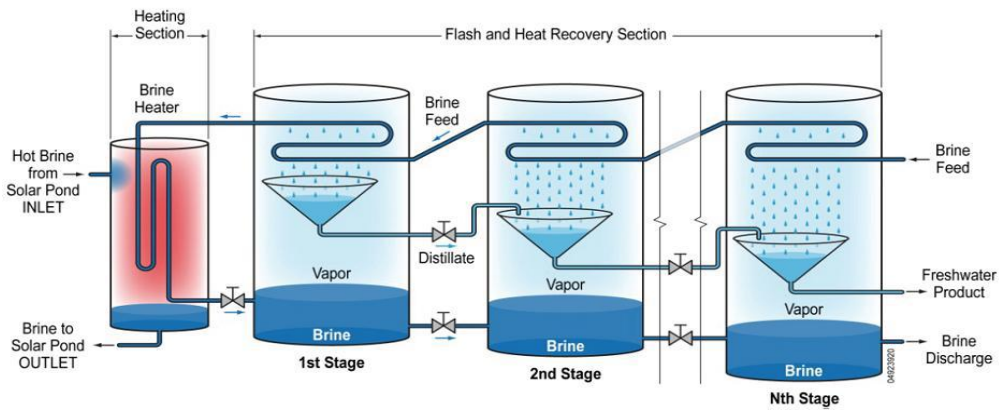
Η μέθοδος αυτή έχει PR περίπου ίσο με 8 και ειδικό κόστος 290 kJ/m^3 θερμικής ενέργειας για 20 βαθμίδες, και περίπου 3-5 kWh/m^3 ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τον αριθμό των βαθμίδων .

Οι επικαθήσεις αλάτων (scaling) και η διάβρωση είναι ένα υπολογίσιμο πρόβλημα λόγω της χρήσης αλμυρού νερού σε υψηλή θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό η διαδικασία έχει απαιτήσεις όσον αφορά την προεπεξεργασία του νερού για να περιοριστούν οι επικαθήσεις αλάτων (που μειώνουν τη συναγωγή στους εναλλάκτες). Εκτός αυτού απαιτείται απαερίωση, φιλτράρισμα σωματιδίων και απολύμανση για να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία της μονάδας. [28]

Επίσης απαιτείται χρήση χημικών που περιορίζουν τη δημιουργία του αφρού, ο οποίος προκαλεί ανάμιξη σταγονιδίων άλμης με το παραγόμενο νερό, μειώνοντας την ποιότητά του.

Η μέθοδος είναι εξαιρετικά αξιόπιστη και σήμερα οι συμβατικές μονάδες MSF μπορούν να λειτουργούν μέχρι και για 2 χρόνια χωρίς ολική παύση λειτουργίας για συντήρηση. [28]

Η διαδικασία περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 4.2 Διαδικασία MSF [26]

4.3.2 Multiple Effect Distillation (Πολυβάθμια εξάτμιση)

Παρόμοια με την MSF, όμως δεν θερμαίνεται ευθέως το τροφοδοτικό νερό. Ο ατμός περνάει μέσα από σωλήνες πάνω στους οποίους ψεκάζεται το τροφοδοτικό νερό (αντίστροφα από ότι στην MSF), δημιουργώντας ένα λεπτό φιλμ πάνω στη σειρά των σωλήνων. Όμοια με πριν, μέρος του νερού εξατμίζεται ενώ το υπόλοιπο παίρνει τη μορφή άλμης. Ο ατμός που παράχθηκε χρησιμοποιείται για να επαναλάβει τη διαδικασία στο επόμενο "Effect" (διεθνής ορολογία για τις βαθμίδες της MED), σε χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία.

Η κρίσιμη διαφορά από την MSF είναι η δυνατότητα της MED) να λειτουργήσει είτε σε υψηλές (130 ^{o}C) είτε σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (70°C-60 ^{o}C).

Η λειτουργία σε χαμηλή θερμοκρασία περιορίζει σημαντικά τα προβλήματα της διάβρωσης και των επικαθήσεων αλλά επιπλέον δημιουργεί τη δυνατότητα αξιοποίησης χαμηλότερου επιπέδου θερμότητας, όπως η απόρριψη θερμότητας των εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη, κατά τη λειτουργία σε χαμηλή θερμοκρασία αυξάνεται δραστικά η ειδική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, πράγμα που αυξάνει το κατασκευαστικό κόστος. Δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το βαθμό απόδοσης αν και γίνεται μια μικρή εξοικονόμηση στην ειδική ενέργεια διότι μειώνονται οι απαιτήσεις στην αύξηση της αισθητής θερμότητας.

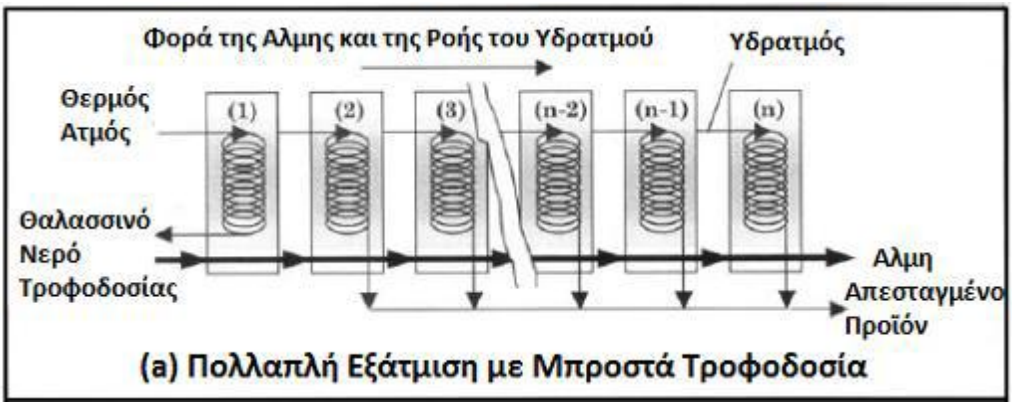
Οι απαιτήσεις τόσο σε θερμική όσο και σε ηλεκτρική ενέργεια είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες της MSF, ενώ το ίδιο Performance Ratio μπορεί να επιτευχθεί για μικρότερο αριθμό βαθμίδων, μειώνοντας έτσι τα κόστη κατασκευής και λειτουργίας. Επίσης έχει μεγαλύτερη ανοχή στις αυξομειώσεις παροχής ατμού από την MSF και συνεπώς μεγαλύτερη ευελιξία στη λειτουργία του. Οι μονάδες που λειτουργούν με MED είναι συγκρίσιμα αξιόπιστες με τις αντίστοιχες που βασίζονται στην MSF, και μπορούν επίσης να λειτουργούν για πάνω από 2 χρόνια χωρίς πλήρη παύση για συντήρηση . Επίσης σημαντικό είναι ότι η κατασκευή της απαιτεί κυρίως απλά υλικά, όπως αλουμίνιο και συμβατικά πλαστικά. [28]

Η απόδοση της μονάδας επηρεάζεται πάρα πολύ από τον αριθμό των βαθμίδων (effects).

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διατάξεις για τη μέθοδο MED, κάθε μια με διαφορετικό μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Ανάλογα με τη διάταξη της παροχής του τροφοδοτικού νερού, άλμης και ατμού, χωρίζονται σε Forward Feed, Backward

Feed, Parallel Feed Parallel-Cross Feed. Σε αυτές προστίθενται οι διατάξεις με συμπίεση ατμού, που διακρίνονται σε Thermal Vapor Compression (TVC) και Mechanical Vapor Compression (MVC). [26]

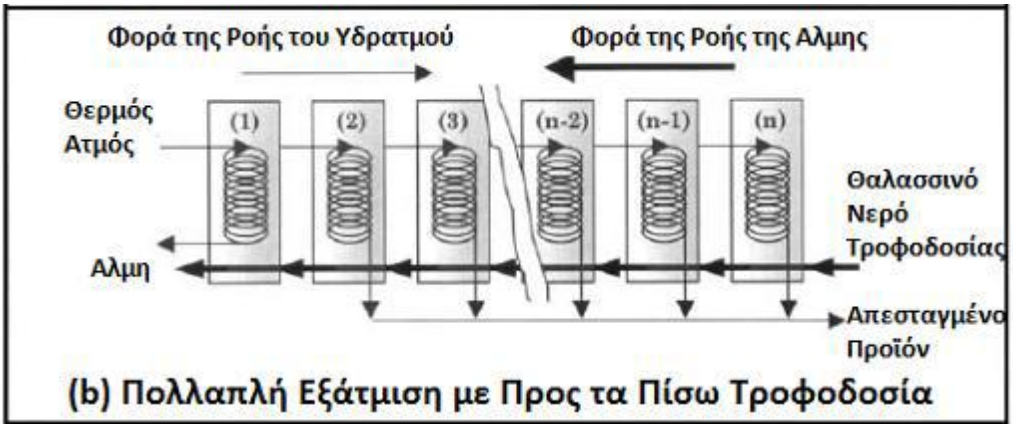
4.3.2.1 Forward Feed (Μπροστά τροφοδοσία)



Εικόνα 4.3 MED Forward Feed [28]

Στη διάταξη Forward Feed το τροφοδοτικό νερό ψεκάζεται στο πρώτο effect, μέρος του εξατμίζεται και η αποβαλλόμενη άλμη ψεκάζεται εκ νέου στην επόμενη βαθμίδα (effect), όπου η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη χρήση του ατμού που παράχθηκε στη προηγούμενη βαθμίδα. Με τη συναλλαγή αυτή ο ατμός του προηγούμενου effect συμπυκνώνεται και εξέρχεται από το σύστημα ως αποσταγμένο νερό. [26]

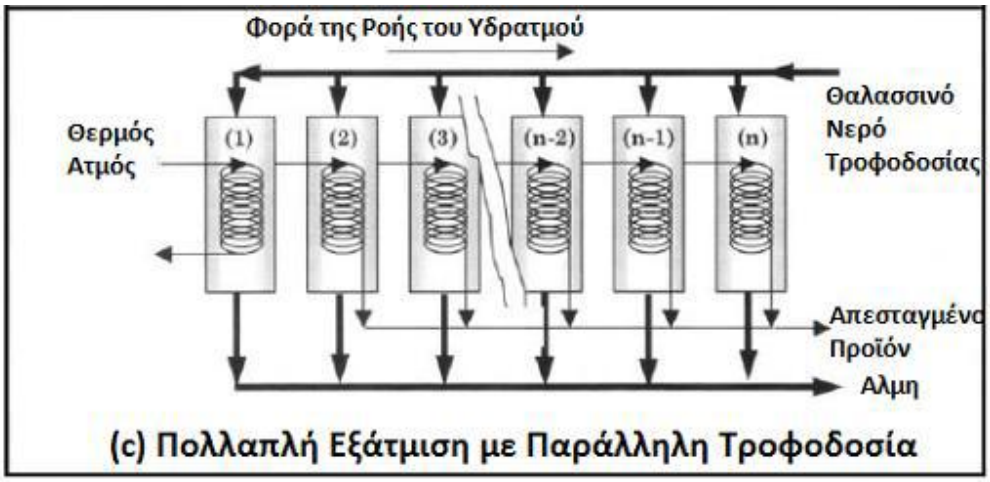
4.3.2.2 Backward Feed (Προς τα πίσω τροφοδοσία)



Εικόνα 4.4 MED Backward Feed [28]

Στο Backward Feed το τροφοδοτικό νερό εισάγεται στο τελευταίο effect (με τη χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση), και προχωράει μέσα από τα διαδοχικά effect προς το αρχικό.

4.3.2.3 Parallel Feed (Παράλληλη τροφοδοσία)

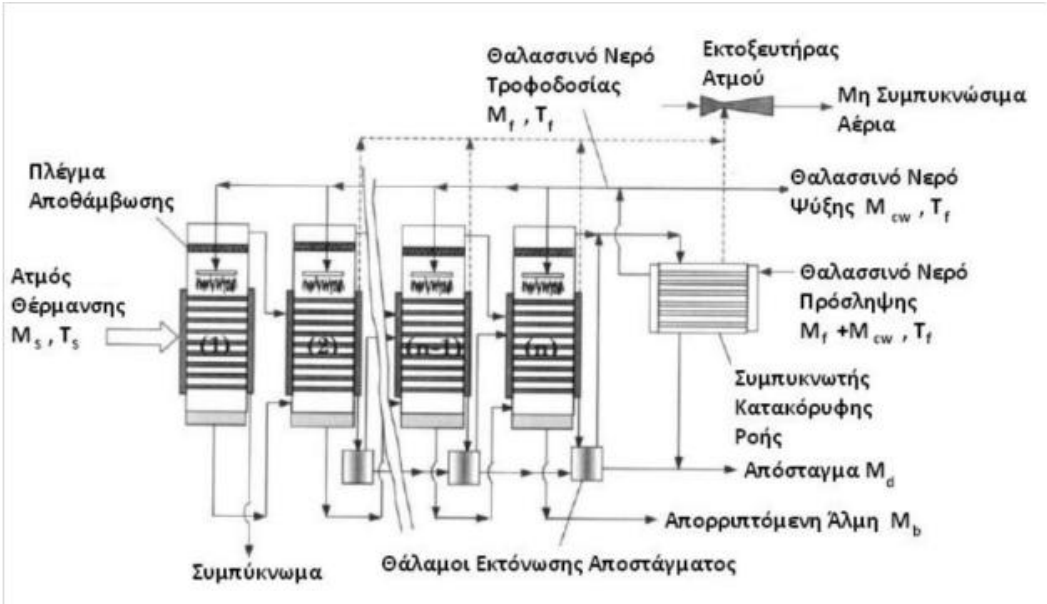


Εικόνα 4.5 MED Parallel Feed [28]

Κατά το Parallel Feed το τροφοδοτικό νερό εισέρχεται ταυτόχρονα σε κάθε effect στο δικό του ρεύμα. Όπως και πριν, ο παραγόμενος ατμός από το προηγούμενο effect χρησιμοποιείται για να εξατμίσει μέρος του νερού στο επόμενο effect.

4.3.2.4 Parallel-Cross Feed (Παράλληλη - διασταυρωμένη τροφοδοσία)

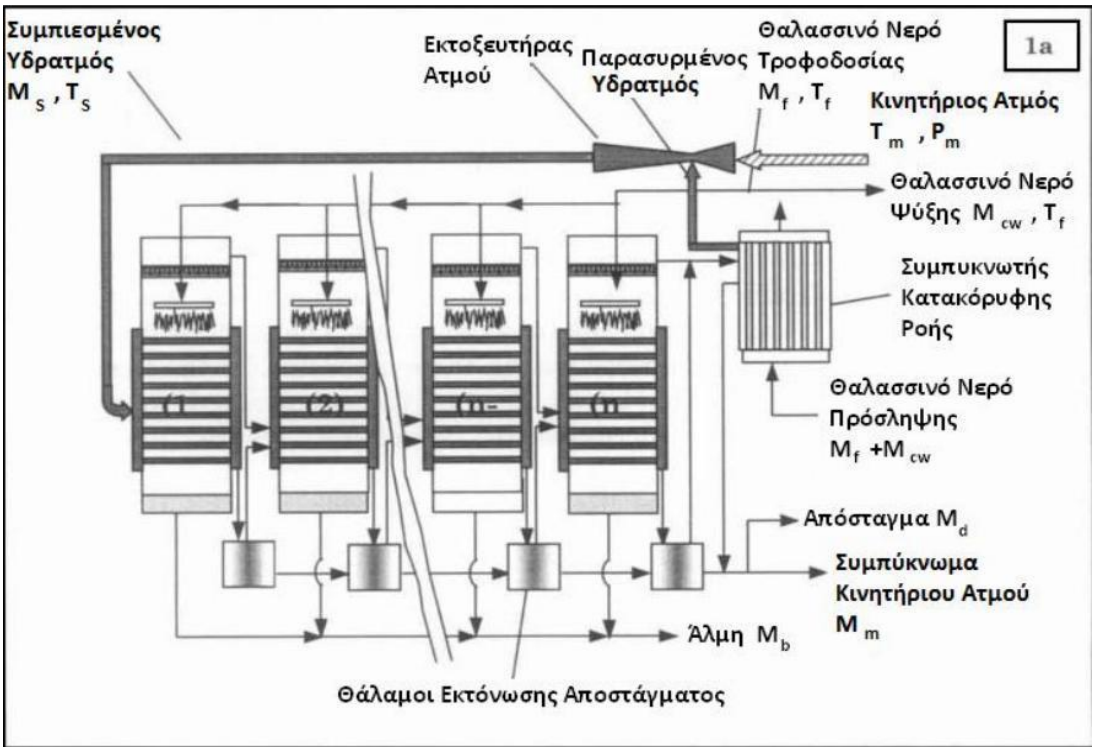
Παρεμφερής με την Parallel Feed, κατά την Parallel-Cross Feed το τροφοδοτικό εισέρχεται σε παράλληλα ρέματα σε όλα τα effect συγχρόνως όπως πριν, όμως η άλμη επανακυκλοφορεί στο επόμενο effect αντί να αποβάλλεται. Κατά τη διαδικασία αυτή η εξάτμιση επιτυγχάνεται και μέσω των εναλλακτικών αλλά και μέσω εξάτμισης από τον όγκο της άλμης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η εγκατάσταση είναι πιο πολύπλοκη, αλλά η απόδοση είναι μεγαλύτερη και επιπλέον μπορούν να επιτευχθούν πολύ μεγαλύτερο το ποσοστό ανάκτησης. Η διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



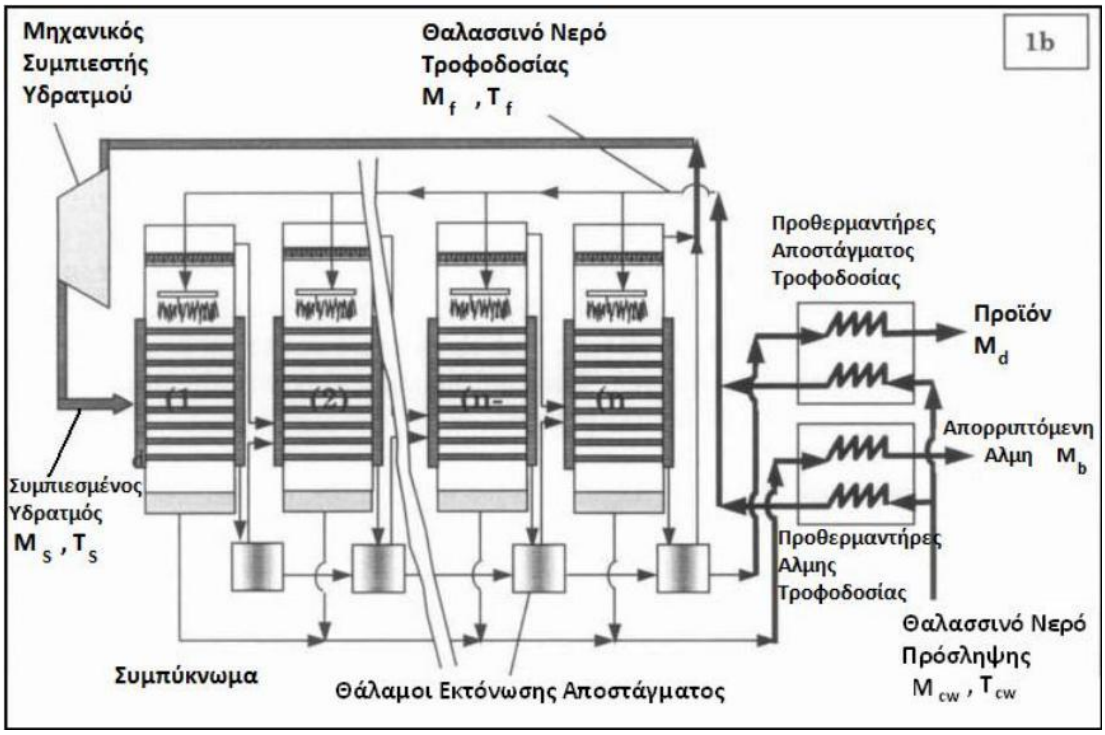
Εικόνα 4.6 MED Διάταξη Parallel-Cross Flow [28]

4.3.2.5 Thermal Vapor Compression /Mechanical Vapor Compression

Ο εξερχόμενος ατμός από το τελευταίο effect μπορεί αντί να υγροποιηθεί να ενωθεί με τον εισερχόμενο ατμό στο πρώτο effect, επανακυκλοφορώντας έτσι ένα μέρος της ενεργείας και μειώνοντας κατά συνέπεια την ειδική κατανάλωση θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μέσω ενός εγχυτήρα (Steam Ejector) είτε μέσω ενός μηχανικού συμπιεστή, χαρακτηρίζοντας αντίστοιχα τις μεθόδους Thermal Vapor Compression (TVC) και Mechanical Vapor Compression (MVC). Οι διατάξεις αυτές φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 4.7 MED Διάταξη TVC [28]



Εικόνα 4.8 MED Διάταξη MVC [28]

4.4 Περιγραφή περιφερειακών λειτουργιών της αφαλάτωσης

4.4.1 Pre Treatment

Γενικά στις μονάδες θερμικής αφαλάτωσης οι ανάγκες pre-treatment είναι απλές.

Κατακράτηση σωματιδίων

Μια άλλη απαίτηση είναι να αφαιρεθούν τα μεγαλύτερα σωματίδια. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με κάποιο φίλτρο είτε με μαγνητισμό. Είναι απαραίτητο και στην εξεταζόμενη περίπτωση διότι τα σωματίδια μπορούν να φράξουν τους ψεκαστήρες (μπεκ) που μετατρέπουν το τροφοδοτικό νερό σε σταγονίδια για την απόσταξη. [27]

Απολύμανση

Πρέπει επίσης να γίνει χλωρίωση του νερού ώστε να απολυμανθεί από μικροοργανισμούς που μπορούν να διαβρώσουν τα υλικά της μονάδας (bio-fouling) ή να αναπτυχθούν μέσα σε αυτή, δημιουργώντας εστία μόλυνσης.

Απαερίωση

Τα αέρια που δε μπορούν να συμπιεστούν προκαλούν τα εξής αποτελέσματα [26]:

- Μειώνουν την ειδική συναγωγιμότητα στις βαθμίδες γιατί λειτουργούν ως μονωτές.
- Μειώνουν τη μερική πίεση του ατμού και κατά συνέπεια τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, μειώνοντας την παραγωγικότητα.
- Η παρουσία οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα ενισχύουν της διαβρωτικές αντιδράσεις.

Anti-Scalant

Μια βασική απαίτηση είναι να υπάρχει κάποιο οργανικό οξύ για να παρεμποδίσει τις επικαθίσεις αλάτων. Στην περίπτωση που οι θερμοκρασίες ή και οι τιμές της αλατότητας είναι πολύ χαμηλότερες από τις κανονικές με σωστή επιλογή των υλικών πιθανότατα να μπορεί να αποφευχθεί τελείως αυτό.

Αποσκλήρυνση

Στην περίπτωση που το τροφοδοτικό νερό ξεπερνάει ένα ορισμένο όριο στη σκληρότητα, σε αυτές τις ανάγκες θα προστεθεί και η ανάγκη αποσκλήρυνσης του νερού, για να υποκατασταθεί το αντιδιαβρωτικό. Από τη βιβλιογραφία το όριο αυτό τίθεται στα 200 ppm. Μέσα σε αυτό το όριο πρέπει να βρίσκεται και η σκληρότητα της άλμης. η οποία υπολογίζεται με το λόγο τροφοδοτικού προς εξατμιζόμενο νερό. [26]

4.4.2 Post Treatment

Το παραγόμενο νερό είναι αποσταγμένο και συνεπώς ακατάλληλο τόσο για ανθρώπινη κατανάλωση λόγω της γεύσης του όσο και για χρήση σε μηχανήματα επειδή είναι διαβρωτικό. Επιπλέον το αποσταγμένο νερό γίνεται εστία μόλυνσης διότι αναπτύσσονται εύκολα μικροοργανισμοί μέσα σε αυτό.

Εμπλουτισμός σε μεταλλικά στοιχεία

Εάν προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, ο εμπλουτισμός γίνεται με διττανθρακικά και ανθρακικά ιόντα και επιδιώκεται η αύξηση του pH. Απαιτείται περιεκτικότητα τουλάχιστον 85 TDS σε μεταλλικό στοιχεία.

Εάν προορίζεται για μηχανήματα η επιλογή συνήθως είναι ο εμπλουτισμός με χλωριούχο νάτριο. [26]

4.4.3 Σύστημα αποβολής άλμης

Στις βιομηχανικές μονάδες αφαλάτωσης η άλμη θεωρείται απόβλητο και προβλέπεται ειδική διαδικασία για την απόρριψη της. Υπάρχουν ανησυχίες που λόγω της αλατότητας, της θερμοκρασίας και των χημικών που περιέχει μπορεί να προκαλέσει οικολογική ζημιά. Κανονικά προβλέπεται είτε αποβολή στη θάλασσα αφού πρώτα αραιωθεί αρκετά είτε έγχυση της σε βαθιά πηγάδια.

Κεφάλαιο 5° Υπολογισμός Εγκατάστασης

5.1 Αφαλάτωση

Στη μελετώμενη εγκατάσταση επιδέχθηκε η μέθοδος (LT-MED) πολυβάθμια εξάτμιση χαμηλής θερμοκρασίας με (TBT - Top Brine Temperature) άνω θερμοκρασία άλμης περίπου 70°C και (Backward Feed) προς τα πίσω τροφοδοσία. Το τμήμα της αφαλάτωσης σχεδιάστηκε στο υπολογιστικό πρόγραμμα IPSE-PRO. Η χαμηλότερη πίεση επιλέχθηκε στα 0.05 bar που μας δίνει τη χαμηλή θερμοκρασία του συστήματος στους 33 ^{o}C. Μελετήθηκαν 6 συνολικά περιπτώσεις. Στην περίπτωση που έχουμε ΔΤ 3°C ανάμεσα στις βαθμίδες προκύπτουν οι 3 εξής περιπτώσεις: η πρώτη με 7 βαθμίδες και TBT 62.5^{o}C, η δεύτερη με 8 βαθμίδες και TBT 67.5^{o}C και η τρίτη 9 βαθμίδες και TBT 72.5^{o}C. Στην περίπτωση τώρα που έχουμε μόνο ΔΤ 2°C ανάμεσα στις βαθμίδες τότε οι προκύπτουν οι άλλες 3 εξής περιπτώσεις: η πρώτη με 9 βαθμίδες και TBT 63.5^{o}C, η δεύτερη με 10 βαθμίδες και TBT 67.5^{o}C και η τρίτη 11 βαθμίδες και TBT 71.5^{o}C.

Παρατηρούμε ότι με μικρότερο ΔΤ ανάμεσα στις βαθμίδες για την ίδια περίπου (TBT) άνω θερμοκρασία η μονάδα μπορεί να έχει άλλες 2 βαθμίδες λόγω του ότι αυτές μπορούν να είναι σε κοντινότερες μεταξύ τους πιέσεις.

Η μονάδα είναι σε κάθετη διάταξη με την πρώτη βαθμίδα να είναι στο πάτο και την τελευταία στην κορυφή. Η πρώτη (brine heater) έχει το κύκλωμα της θέρμανσης από του ηλιακούς συλλέκτες. Ο παραγόμενος ατμός εισέρχεται στη δεύτερη βαθμίδα όπου προσδίδει την λανθάνουσα θερμότητα του στη βαθμίδα αυτή. Η άλμη στην έξοδο της από την πρώτη βαθμίδα έχει περιεκτικότητα 150,000 TDS (ppm) ή 0.15 kg(άλατος)/kg(νερού) περνά από την αντλία απόρριψης και μετά σε εναλλάκτη όπου το άλλο ρεύμα είναι το θαλασσινό νερό που έρχεται από την έξοδο της δεύτερης βαθμίδας όπου είναι σε χαμηλότερη πίεση και άρα χαμηλότερη θερμοκρασία (η βαθμίδα) και μετά εισέρχεται στην πρώτη.

Το θαλασσινό νερό μεταφέρεται από τη μια βαθμίδα στην άλλη μέσω ενός double-U tube σωλήνα και έτσι αποφεύγεται η χρήση αντλίας . Η δεύτερη βαθμίδα είναι σε χαμηλότερη πίεση και άρα χαμηλότερη θερμοκρασία έτσι η πρόσδοση θερμότητας γίνεται από την λανθάνουσα θερμότητα του ατμού της προηγούμενης βαθμίδας. Ο εναλάκτης μέσα στη βαθμίδα είναι τεχνολογίας falling film δηλαδή μέσα στις σωλήνες περνάει ο ατμός και απέξω το θαλασσινό νερό πέφτει από την κορυφή δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα στην εξωτερική πλευρά των σωλήνων.

Ο παραγόμενος ατμός αναμιγνύεται με το καθαρό νερό από την έξοδο της ίδιας βαθμίδας και μετά εισέρχεται στη τρίτη βαθμίδα. Το ρεύμα της απορριπτόμενης άλμης θερμαίνει το θαλασσινό νερό πριν την είσοδο του στην κάθε βαθμίδα και μετά τον τελευταίο εναλλάκτη επιστρέφει στη θάλασσα.

Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται μέχρι την τελευταία βαθμίδα μόνο που εκεί ο παραγόμενος ατμός μπαίνει στο συμπυκνωτή. Με τη βοήθεια μιας αντλίας το κρύο ρεύμα του συμπυκνωτή που είναι θαλασσινό νερό θερμοκρασίας 20 ^{o}C και περιεκτικότητας 40,000 TDS (ppm) ή 0.04 kg(άλατος)/kg(νερού), το κυρίως μέρος του επιστρέφει στη θάλασσα εκτός από ένα μικρότερο ποσοστό που στραγγαλίζεται

και εισέρχεται στην τελευταία βαθμίδα της μονάδας (το σύστημα είναι αντίστροφης τροφοδοσίας).
Το παραγόμενο νερό από τον συμπυκνωτή και τις προηγούμενες βαθμίδες επειδή βρίσκεται σε υποπίεση περνάει από μια αντλία για την αποκατάσταση του σε ατμοσφαιρική πίεση.
Απαραίτητη είναι άλλη μια αντλία για το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών.
Η λειτουργία των 6 μελετώμενων εγκαταστάσεων είναι παρόμοια με μόνη διαφορά να είναι ο αριθμός των ενδιάμεσων βαθμίδων ανάμεσα στην πρώτη (brine heater) και την τελευταία που έχουμε τον συμπυκνωτή.
Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις της μονάδας είναι περίπου 3 kWh_{el}/m^3.

5.2 Ηλιακοί συλλέκτες

Για τους υπολογισμούς της εργασίας αυτής επιλέχτηκε ο αριθμός των 5,000 συλλεκτών. Χρησιμοποιήθηκαν τα ηλιακά δεδομένα του έτους 2005 και έγιναν οι υπολογισμοί για όλες τις ωριαίες τιμές της ηλιακής ενέργειας του έτους. Η κλίση των ηλιακών συλλεκτών πάρθηκε $\beta=30^o$. Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής είναι $\Phi=34.7^o$.
Για τον υπολογισμό της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$G_T = G_B \cos\theta + G_D \left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + (G_B + G_D)\,\rho \left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right]$$

Όπου ρ=0.2 και είναι η ανακλαστικότητα του εδάφους.

Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας για επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες δεν μπορούν να δημιουργήσουν πάρα πολύ μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές. Επιλέχθηκαν συνεπώς 3 ελάχιστες θερμοκρασίες για τη λειτουργία της MED (65°C, 70°C, 75°C) για την έξοδο από την πρώτη βαθμίδα (brine heater) και την είσοδο του εργαζόμενου ρευστού στους συλλέκτες. Οι υπολογισμοί έγιναν με το ίδιο $\Delta T=10^oC$ στους συλλέκτες και για τις 3 περιπτώσεις.
Για τον υπολογισμό της θερμικής ισχύος χρησιμοποιήθηκε ο τύπος

$$Q_u = A_c\, F_R\, [S - U_L(T_{f,i} - T_a)]$$

Για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκε η μέση μηνιαία για κάθε μήνα ξεχωριστά.

	ΓΕΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΗΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΙΟ	ΔΕΚ
$T_a(^oC)$	13.2	13.1	15.2	18	21.8	25.5	27.8	28	26	23.2	18.5	14.5

Πίνακας 5.1 Μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος

Θεωρήθηκε ότι οι συλλέκτες είναι διπλού υάλινου καλύμματος και επιλεκτικού απορροφητήρα για να έχουμε περιορισμένες θερμικές απώλειες σε σχέση με άλλους επίπεδους συλλέκτες.

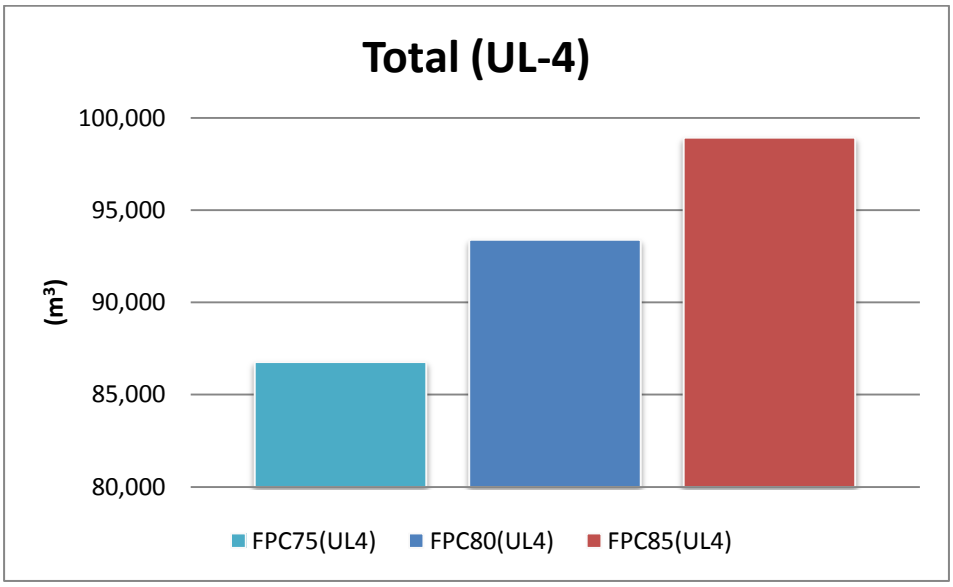
Για την απλοποίηση των υπολογισμών ο συντελεστής θερμικών απωλειών U_L θεωρήθηκε σταθερός αφού λόγου του μικρού ΔΤ των 10^oC η αύξηση του είναι μικρότερη του 5%.
Η ωφέλιμη επιφάνεια του κάθε συλλέκτη θεωρήθηκε 1.85 m^2.
Οι υπολογισμοί της θερμικής ισχύος έγιναν για τις θερμοκρασίες (εισόδου και εξόδου του συλλέκτη) 65-75^oC ,70-80^oC και 75-85^oC και για δυο τιμές του συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4 και U_L=5.
Οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να αποδώσουν τη θερμοκρασία εξόδου για αρκετές ώρες της ημέρας για το γεωγραφικό πλάτος της Κύπρου. Το καλοκαίρι η ηλιοφάνεια είναι αρκετή για 9 με 10 ώρες λειτουργίας , την άνοιξη και το φθινόπωρο οι ώρες λειτουργίας φτάνουν τις 7 με 8 και τον χειμώνα περιορίζονται στις 5 με 6 εφόσον δεν έχουμε συννεφιά. Οι μέρες ηλιοφάνειας της Κύπρου ξεπερνούν τις 300 τον χρόνο.
Ήταν επίσης επιθυμητή επιλογή αυτών των θερμοκρασιών γιατί οι χαμηλές θερμοκρασίες στη πλευρά της μονάδας αφαλάτωσης περιορίζουν τη διάβρωση και την εναπόθεση αλάτων στους σωλήνες των εναλλακτών.

Διατήρηση σταθερών τιμών στη θερμοκρασία μέσω της μεταβολής της παροχής
Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου συνδεδεμένο με θερμοστάτη και μια αντλία μεταβλητών στροφών θα μετράει συνεχώς την θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τους συλλέκτες. Όταν η μέση τιμή της για κάποια σταθερή χρονική περίοδο ξεφύγει από την προκαθορισμένη θερμοκρασία λειτουργίας του αποστακτήρα. Το σύστημα θα ρυθμίζει αντίστοιχα την παροχή του τροφοδοτικού νερού και του φυσικού μέσου μέσω των αντίστοιχων αντλιών, διατηρώντας τη θερμοκρασία λειτουργίας και μεταβάλλοντας την παραγωγή πόσιμου νερού.
Στην περίπτωση που η ηλιοφάνεια είναι πολύ χαμηλή για να ανταπεξέλθει και η παροχή πέσει κάτω από ένα ορισμένο όριο, η μονάδα μπορεί να υποβοηθείται από καυστήρα που θα συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια.
Στην παρούσα μελέτη δεν μελετάται η περίπτωση υποβοήθησης και για το λόγο αυτό περιορίστηκαν οι ώρες λειτουργίας, μηδενίζοντας την παροχή όταν η ακτινοβολία είναι κάτω από ένα ορισμένο όριο.
Η επιλογή του περιορισμού αυτού έγινε επίσης και για τον λόγο ότι η μονάδα δεν έχει άπειρη ευελιξία στη διαφοροποίηση της προσφερόμενης ενέργειας και η βέλτιστη λειτουργία της προβλέπεται από το σχεδιασμό για συγκριμένα εύρη παροχών.

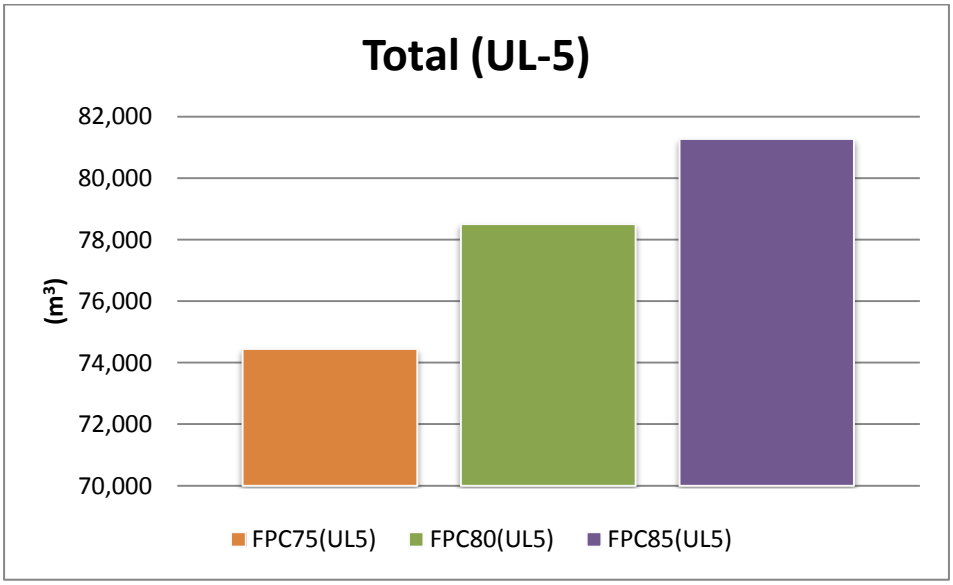
5.3 Αποτελέσματα

Μια μονάδα με περισσότερες βαθμίδες θα έχει καλύτερο βαθμό απόδοσης δηλαδή μικρότερο αριθμό kWh_{th}/m^3 αφού για την ίδια προσφερόμενη θερμική ενέργεια θα παραχθεί περισσότερο καθαρό νερό, αλλά περισσότερες βαθμίδες ισοδυναμεί με μεγαλύτερη άνω θερμοκρασία λειτουργίας.
Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τους ηλιακούς συλλέκτες τότε τόσο αυξάνονται οι θερμικές απώλειες σε αυτούς και μειώνονται ο βαθμός απόδοσης και οι ώρες λειτουργίας τους. Η αυξημένη όμως παραγωγή του

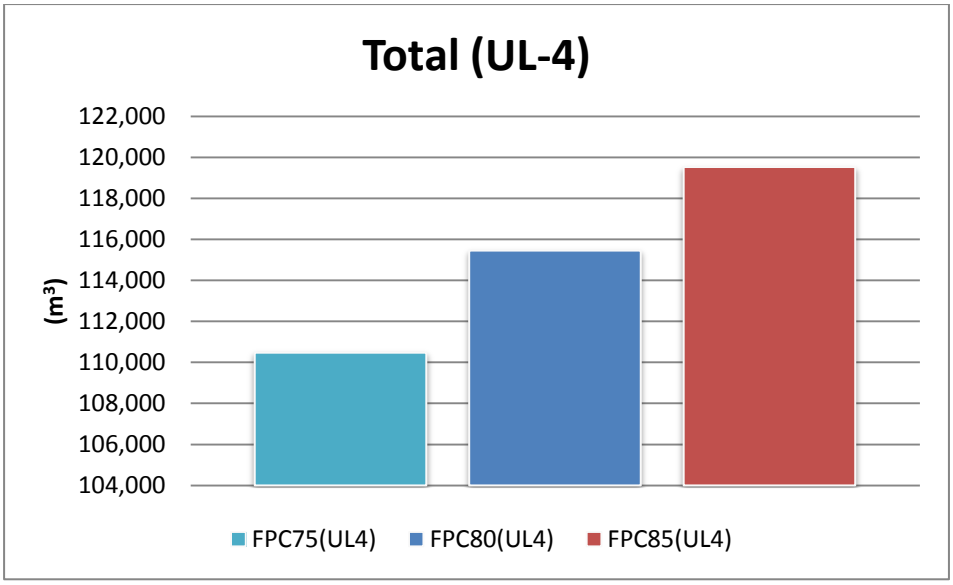
καθαρού νερού στη περίπτωση της υψηλότερης θερμοκρασίας λειτουργίας υπερτερεί παρά το μειονέκτημα της χαμηλότερης απόδοσης στους συλλέκτες.



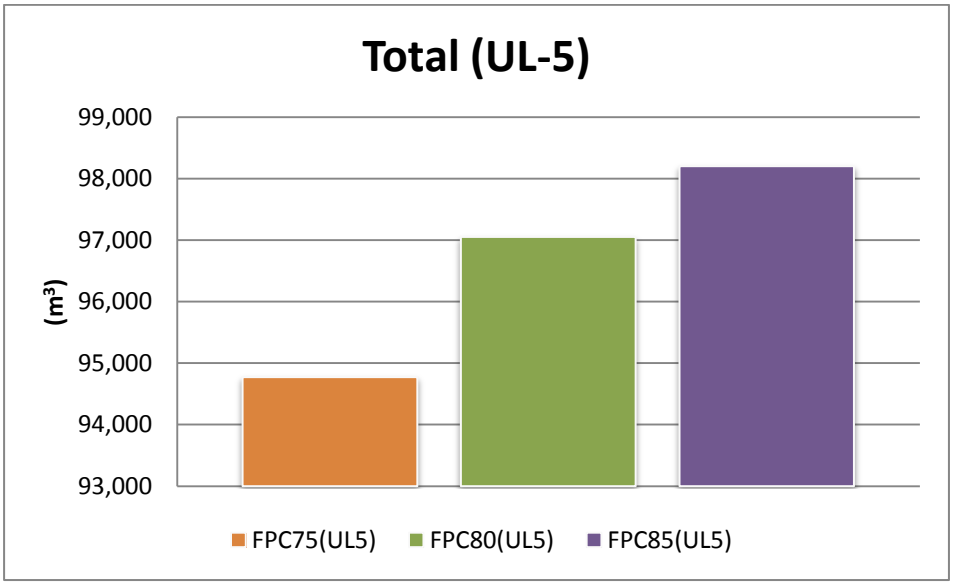
Γράφημα 5.3.1 Συνολική παραγωγή νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



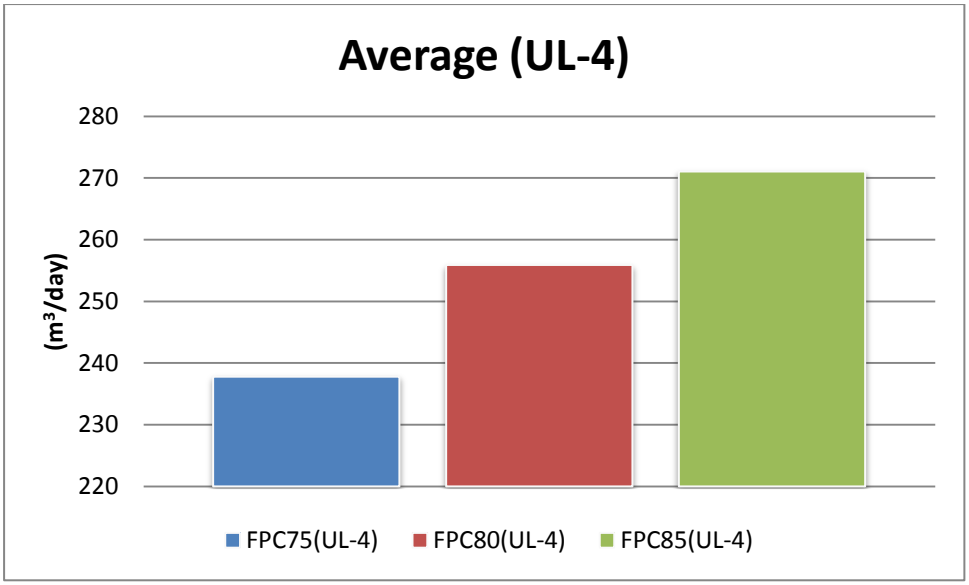
Γράφημα 5.3.2 Συνολική παραγωγή νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5



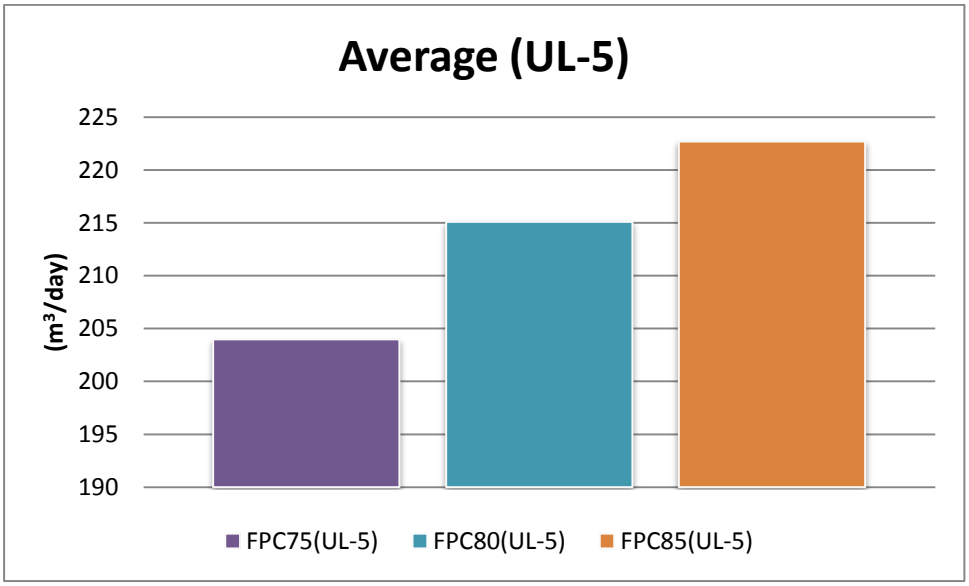
Γράφημα 5.3.3 Συνολική παραγωγή νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



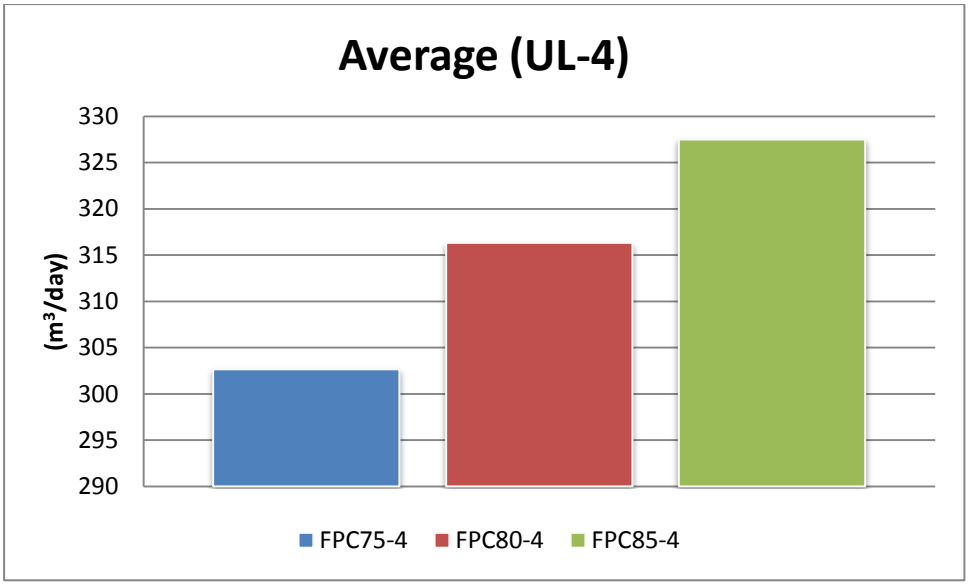
Γράφημα 5.3.4 Συνολική παραγωγή νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5



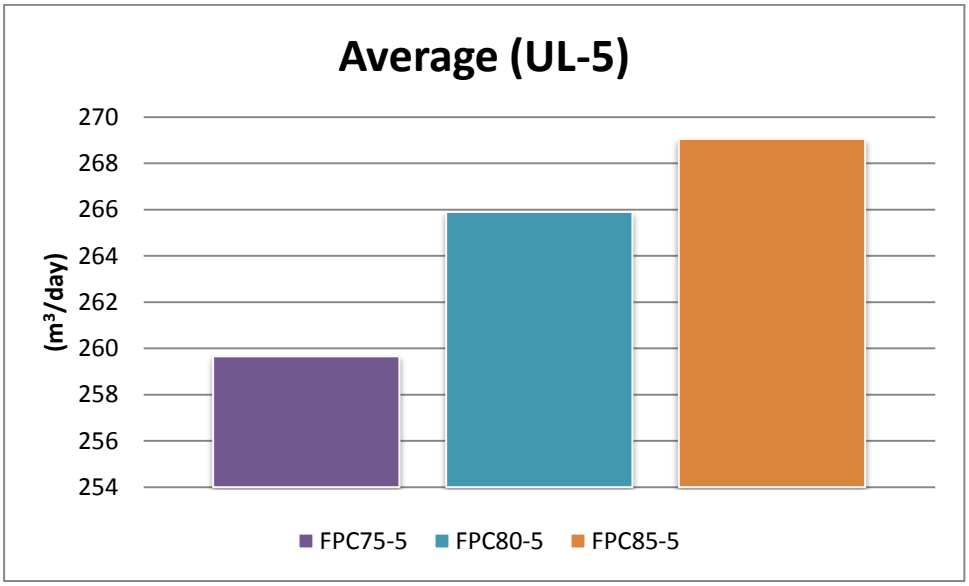
Γραφημα5.3.5 Μέση ημερήσια παραγωγή νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



Γραφημα5.3.6 Μέση ημερήσια παραγωγή νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5



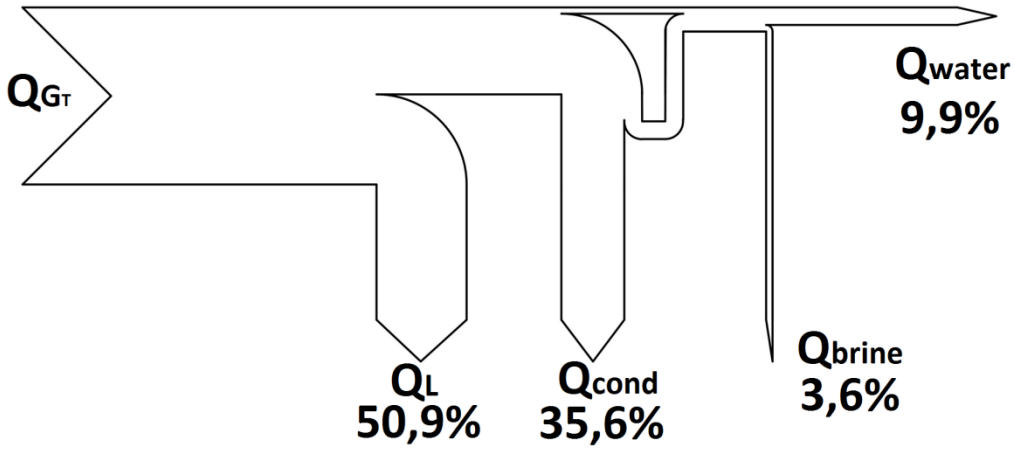
Γραφημα5.3.7 Μέση ημερήσια παραγωγή νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



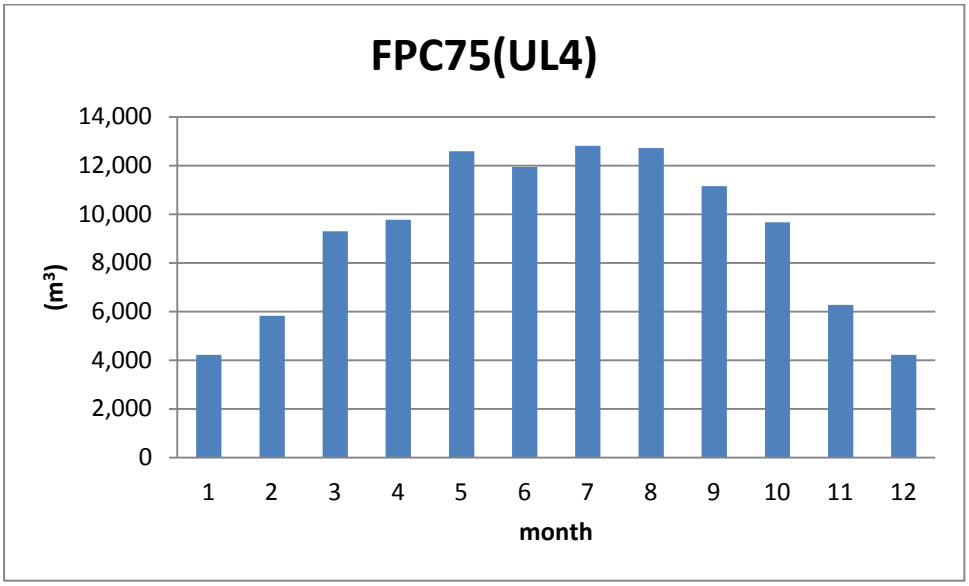
Γραφημα5.3.8 Μέση ημερήσια παραγωγή νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5

Είναι σαφές ότι οι 3 μονάδες των 9,10 και 11 βαθμίδων έχουν καλύτερη απόδοση από τις άλλες 3 επειδή για τις ίδιες θερμοκρασίες έχουν περισσότερες βαθμίδες και άρα μεγαλύτερη παραγωγή καθαρού νερού.

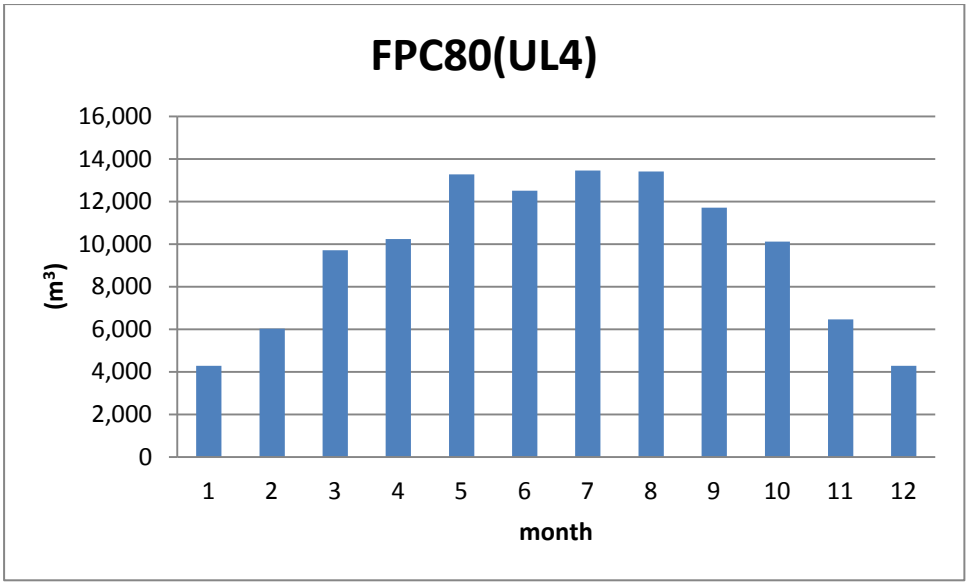
Σε όλες τις περιπτώσεις που έχουμε το μεγαλύτερο συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5 αυτός συνεπάγεται μεγαλύτερες θερμικές απώλειες στους συλλέκτες δηλαδή έχουν μικρότερη προσφερόμενη θερμική ισχύ στη μονάδα και άρα μειώνεται η παραγωγή του αφαλατωμένου νερού.



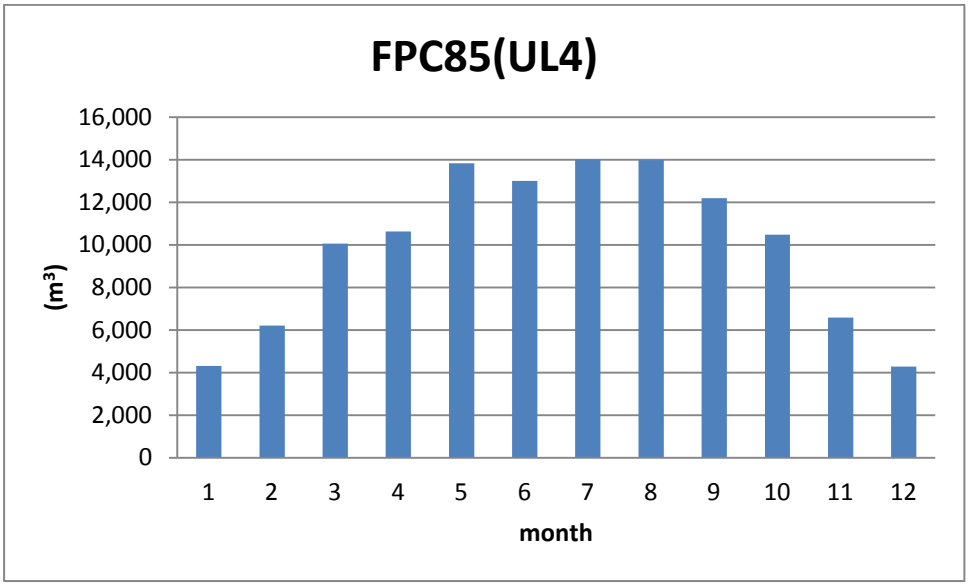
Διάγραμμα 5.3.9 Ροή Ενέργειας



Γράφημα 5.3.10 Συνολική παραγωγή νερού ανά μήνα για 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



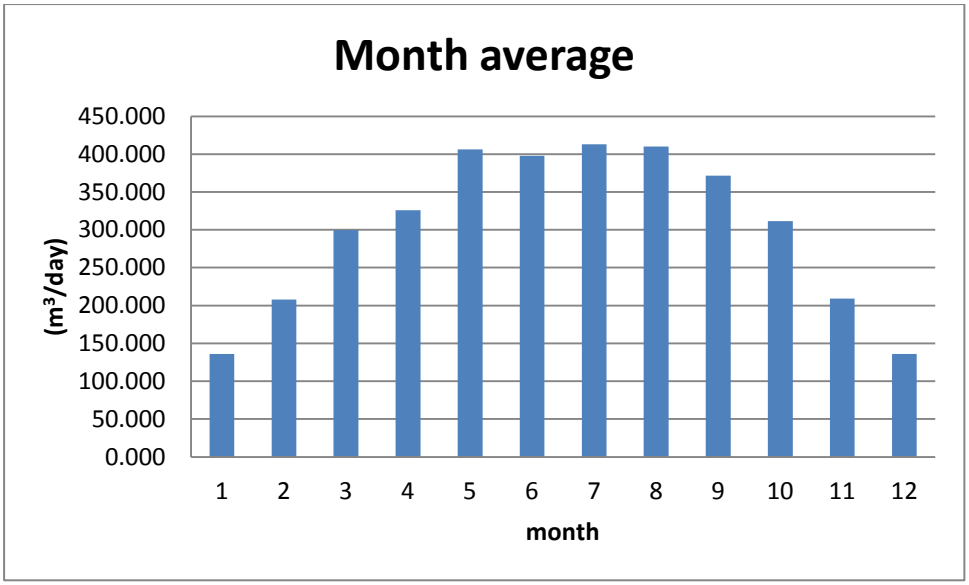
Γράφημα 5.3.11 Συνολική παραγωγή νερού ανά μήνα για 10 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



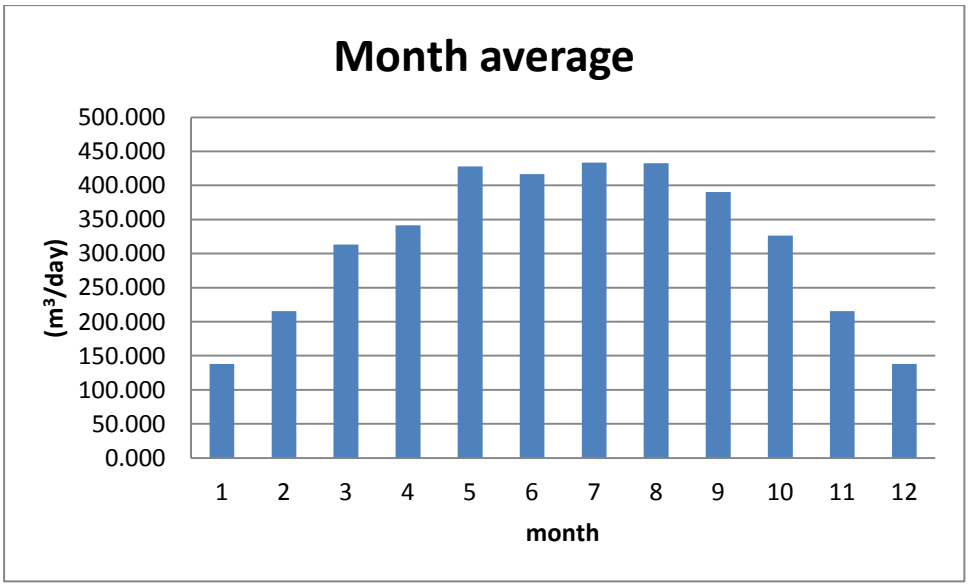
Γράφημα 5.3.12 Συνολική παραγωγή νερού ανά μήνα για 11 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4

Η μειωμένη παραγωγή νερού κατά τον Ιούνιο σε σχέση με τους υπόλοιπούς καλοκαιρινούς μήνες πιθανόν να οφείλετε σε εμφάνιση αφρικανικής σκόνης στην ατμόσφαιρα.

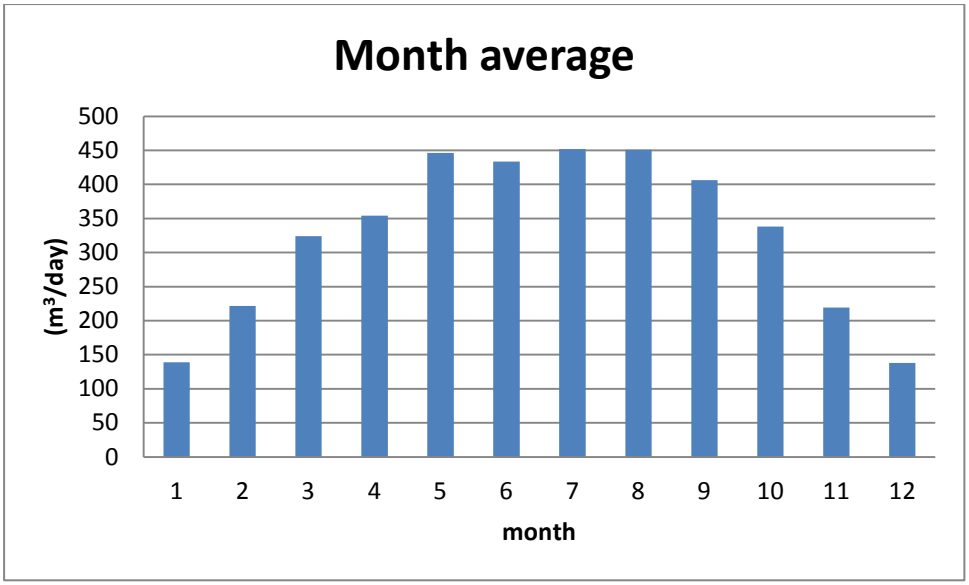
Με κριτήριο τη μεγαλύτερη παραγωγή αφαλατωμένου νερού η καλύτερη επιλογή είναι μονάδα αφαλάτωσης με 11 βαθμίδες και ηλιακούς συλλέκτες με χαμηλό συντελεστή θερμικών απωλειών.



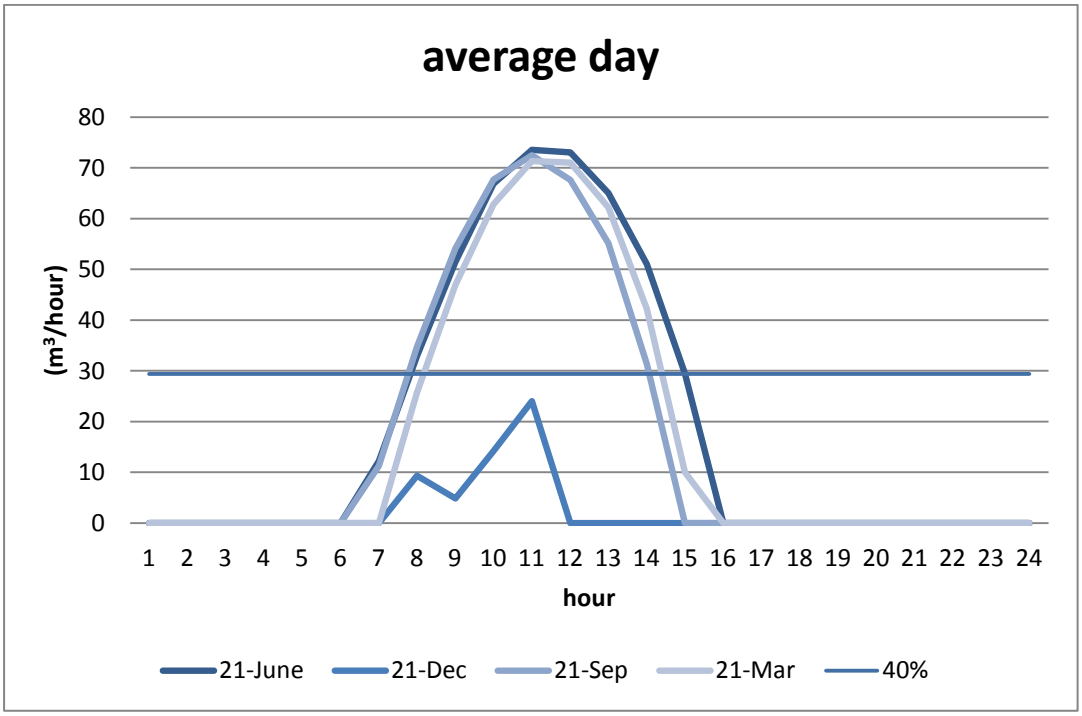
Γράφημα 5.3.13 Μέση παραγωγή νερού ανά μέρα για κάθε μήνα για 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



Γράφημα 5.3.14 Μέση παραγωγή νερού ανά μέρα για κάθε μήνα για 10 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



Γράφημα 5.3.15 Μέση παραγωγή νερού ανά μέρα για κάθε μήνα για 11 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



Γράφημα 5.3.16 Ημερήσια παραγωγή νερού για 11 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4

Το προφίλ του παραγόμενου νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι παρόμοιο από τον Μάρτιο μέχρι τον Οκτώβριο. Δηλαδή για όλους αυτούς τους μήνες η μονάδα μπορεί να δουλέψει στο μέγιστο με μόνη διαφορά λόγο της μικρότερης ηλιοφάνειας τις μειωμένες ώρες λειτουργίας την άνοιξη και το φθινόπωρο σε σχέση με τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η μονάδα μπορεί να λειτουργήσει μέχρι το 40% της ονομαστικής της παροχής. Τους 4 μήνες που έχουμε μειωμένη ηλιοφάνεια και άρα μειωμένη παροχή παρουσιάζετε

πρόβλημα γιατί αυτή πέφτει κάτω από την ελάχιστη δυνατή παροχή λειτουργίας της μονάδας.
Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι η μονάδα να χωριστεί σε 2 μονάδες μικρότερης παροχής η κάθε μια και ίδια συνολικής παροχής. Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρήση αποθήκευσης του εργαζόμενου ρευστού των συλλεκτών.

Κεφάλαιο 6ο Οικονομική Αξιολόγηση

Ο σκοπός μιας οικονομικής ή χρηματικής ανάλυσης είναι να διερευνήσει την χρηματική αποδοτικότητα ενός σχεδίου επένδυσης. Η ουσία είναι να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ απόδοσης (κέρδους) και επενδυτικού κεφαλαίου. Εφόσον η οικονομική αποδοτικότητα έχει κρίσιμη σημασία, η σχετική ανάλυση αξιολογεί ή ελέγχει το βαθμό αξιοπιστίας της αποδοτικότητας από άποψη αβεβαιότητας και ευαισθησίας σε ορισμένες πιθανές εξελίξεις. [29]

6.1 Οικονομικοί Όροι

6.1.1 Χρηματοροή

Ως χρηματοροή καλείται το χρηματικό ποσό που εισέρχεται ή εξέρχεται από μία οικονομική μονάδα μία χρονική στιγμή. Θετικές χρηματοροές (ταμειακές εισροές) θεωρούνται όλες οι εισροές μετρητών από τους χρηματοδοτικούς πόρους (ιδία κεφάλαια, δανεισμός, πιστώσεις κλπ) και τα έσοδα πωλήσεων της μονάδας (εισπράξεις). Αρνητικές χρηματοροές (ταμειακές εκροές) θεωρούνται οι συνολικές επενδύσεις και εγκαταστάσεις, το λειτουργικό κόστος, η εξυπηρέτηση των δανείων, οι πληρωμές των φόρων και οι λοιπές πληρωμές που μπορεί να πραγματοποιηθούν.
Η αξία μιας χρηματοροής εξαρτάται από την χρονική στιγμή στην οποία αναφερόμαστε, αφού η αξία του χρήματος μεταβάλλεται με το χρόνο με ρυθμό που ονομάζεται επιτόκιο αναγωγής. Επομένως αφού ένα επενδυτικό σχέδιο από μια σειρά χρηματοροών που η κάθε μια από αυτές γίνεται σε διαφορετική χρονική στιγμή λόγω της χρονικής αξίας του χρήματος δεν είναι ομοιογενείς και συγκρίσιμες. Έτσι γίνεται αναγκαία η αναγωγή όλων των χρηματοροών σε κοινή χρονική βάση. Αν C η αξία μιας χρηματοροής σήμερα ή ένα αρχικό ποσό χρημάτων τότε [31]:

$$S = C * (1 + i)^{n}$$

$$P = C * (1 + i)^{-n}$$

Όπου:

i = Επιτόκιο αναγωγής

n = Περιόδους χρόνου (έτη)

S = Η τελική αξία μιας παρούσας χρηματοροής μετά από η περιόδους χρόνου

P = Η παρούσα αξία μιας μελλοντικής χρηματοροής μετά από η περιόδους χρόνου

Ο πρώτος μετασχηματισμός ονομάζεται αναγωγή παρούσας χρηματοροής σε μελλοντική αξία, και μετατρέπει σημερινές αξίες σε ισοδύναμες μελλοντικές με βάση το επιτόκιο αναγωγής. Ο δεύτερος μετασχηματισμός ονομάζεται αναγωγή μελλοντικής χρηματοροής σε παρούσα αξία και ανάγει αξίες που αναφέρονται σε κάποια χρονική στιγμή στο μέλλον σε σημερινές τιμές.

6.1.2 Απόσβεση

Η απόσβεση αντιπροσωπεύει τη σταδιακή μείωση της αξίας των παγίων περιουσιακών στοιχείων μιας επένδυσης και θεωρητικά επιτρέπουν την αντικατάστασή τους μετά το τέλος του χρήσιμου χρόνου ζωής τους. Με τη μέθοδο της απόσβεσης επιδιώκεται η κατανομή του κόστους παγίων στοιχείων σε όλο το χρόνο ζωής τους και η αντίστοιχη επιβάρυνση του κόστους. Η επιβάρυνση αυτή δεν αποτελεί πραγματική ταμειακή εκροή κατά τα έτη της παραγωγικής λειτουργίας, αφού η δαπάνη για την απόκτηση του περιουσιακού στοιχείου σημειώθηκε κατά την χρονική στιγμή της απόκτησής του. Για τον υπολογισμό των αποσβέσεων ενός παγίου περιουσιακού στοιχείου, πρέπει να είναι γνωστά η δαπάνη για την αγορά, μεταφορά, εγκατάσταση και όλα τα πιθανά έξοδα που απαιτούνται μέχρι την έναρξη της λειτουργίας του (αρχικό κόστος επένδυσης), ο χρήσιμος χρόνος ζωής του και η υπολειμματική αξία που αποτελεί τα πιθανά έσοδα που θα προκύψουν κατά την εκποίηση του περιουσιακού στοιχείου, μετά το χρήσιμο χρόνο ζωής του.

Η αξία που θα αποσβεστεί είναι η διαφορά μεταξύ του αρχικού κόστους επένδυσης και της υπολειμματικής αξίας. Με την κλασσική σταθερή μέθοδο απόσβεσης, το ετήσιο ύψος της απόσβεσης ισούται με το πηλίκο της παραπάνω διαφοράς προς το χρήσιμο χρόνο ζωής. Στην πράξη η σταθερή μέθοδος εφαρμόζεται με τη χρήση ενός σταθερού ποσοστού (ή συντελεστή απόσβεσης) στη θέση του χρήσιμου χρόνου ζωής. Για κάθε κατηγορία περιουσιακού στοιχείου, ισχύει ένας ανώτατος συντελεστής απόσβεσης που καθορίζεται νομοθετικά. Με τους νόμους περί κινήτρων οι συντελεστές αυτοί είναι δυνατόν να προσαυξηθούν ανάλογα με την περιοχή εγκατάστασης της επένδυσης. Η προσαύξηση αυτή, που επιτυγχάνεται και με άλλες μη σταθερές μεθόδους απόσβεσης (με τις οποίες το ετήσιο ύψος απόσβεσης μειώνεται με το χρόνο), αποτελεί μια έμμεση οικονομική ενίσχυση της επιχείρησης, ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της. [29]

6.2 Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης

Η απόφαση για την προώθηση μιας επένδυσης είναι ιδιαίτερα σημαντική και επομένως είναι απαραίτητο πριν από τη λήψη της απόφασης να διερευνηθεί η χρηματοοικονομική αποδοτικότητα του εξεταζόμενου σχεδίου επένδυσης, για τον ίδιο τον επενδυτή.

Η διαδικασία της οικονομικής ανάλυσης περιλαμβάνει σύνθεση των στοιχείων κόστους και οφέλους της επένδυσης, με χρονική κλιμάκωση ή συνολικά, ανάλογα αν λαμβάνεται υπ' όψη ή όχι η χρονική αξία του χρήματος. Πιο αναλυτικά πρέπει να εκτιμηθούν τα εξής στοιχεία:

- Το συνολικό κόστος της επένδυσης και η σχεδιαζόμενη χρονική κατανομή των εκροών.
- Το ύψος του απαραίτητου κεφαλαίου κίνησης.
- Ο προβλεπόμενος χρήσιμος χρόνος ζωής της επένδυσης.
- Οι πωλήσεις και τα αναμενόμενα έσοδα.
- Το λειτουργικό κόστος της επιχείρησης.

- Η πιθανή υπολειμματική αξία της επένδυσης στο τέλος του χρήσιμου χρόνου ζωής της.
- Το νομικό και οικονομικό περιβάλλον μέσα στο οποίο θα λειτουργήσει η επιχείρηση και το οποίο καθορίζει το ύψος των φορολογικών συντελεστών, το ρυθμό απόσβεσης των παγίων περιουσιακών στοιχείων, τις πιθανές επιχορηγήσεις από την πολιτεία και το προβλεπόμενο ύψος του πληθωρισμού.

Στην οικονομική ανάλυση χρησιμοποιούνται οι τιμές αγοράς δηλαδή οι ισχύουσες τιμές στην αγορά που περιλαμβάνουν τους φόρους, τις άλλες επιβαρύνσεις κτλ. Οι επενδυτές, ως ιδιωτικοί φορείς, ενδιαφέρονται για το καθαρό κέρδος (μετά τη φορολογία). Ως κέρδος νοείται η αμοιβή του κεφαλαίου (το επιτόκιο του μακροχρόνιου δανεισμού) πλέον το περιθώριο του επιχειρηματικού κινδύνου. Η υπόθεση ότι ο επενδυτής πρέπει να έχει κέρδος ίσο προς το επιτόκιο δανεισμού δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, εφόσον ο επενδυτής δεν δανείζει απλώς τα κεφάλαιά του, αλλά αναλαμβάνει μια επιχειρηματική πρωτοβουλία, ευρύτερης παραγωγικής αποστολής και διατρέχει κάποιο κίνδυνο.

6.2.1 Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value, NPV)

Το κριτήριο αυτό αποτελεί ένα ευρύτατο εφαρμοζόμενο μέτρο οικονομικής αποδοτικότητας για την αξιολόγηση των σχεδίων επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία, γνωστή με τα αρχικά NPV εκφράζει την αξία σε χρηματικές μονάδες, που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των καθαρών χρηματοροών κάθε έτους (διαφορά μεταξύ των μελλοντικών ταμειακών εισροών ή εσόδων και εκροών ή εξόδων) για ολόκληρο τον χρονικό ορίζοντα λειτουργίας του σχεδίου επένδυσης. Υπολογίζεται από τον εξής γενικό τύπο [31]:

$$\mathrm{NPV} = -\mathrm{k} + \sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{C_t}\,(1+i)^{-\mathrm{t}}$$

Όπου:

k = Το αρχικό κόστος επένδυσης

t = Η περίοδος προεξόφλησης

i = Το επιτόκιο προεξόφλησης

n = Οικονομικός κύκλος ζωής, η χρονική περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας ανακτάται το αρχικό κεφάλαιο

Το επιτόκιο προεξόφλησης επιλέγεται με βάση τις τρέχουσες συνθήκες της τραπεζικής αγοράς, εφόσον αυτή λειτουργεί σχετικά ομαλά, και αντανακλά τις πραγματικές συνθήκες προσφοράς και ζήτησης κεφαλαίων.

Συνήθως προστίθεται στο τραπεζικό επιτόκιο ένα επιπλέον ποσοστό, το λεγόμενο περιθώριο κινδύνου, που έχει σκοπό να αντισταθμίσει το ρίσκο του εγχειρήματος και κυμαίνεται μεταξύ 1% και 4% ανάλογα με το βαθμό αβεβαιότητας του σχεδίου επένδυσης ή του κλάδου.

Η μέθοδος είναι αξιόπιστη γιατί μετατρέπει τις μελλοντικές ροές αξιών του σχεδίου επένδυσης σε παρούσες αξίες, δηλαδή αυτές που ισχύουν τη στιγμή που παίρνεται η

απόφαση. Η ίδια η τιμή της NPV δεν έχει κάποια συγκεκριμένη σημασία- Αυτό που ενδιαφέρει είναι αν είναι θετική ή αρνητική. Γενικά ισχύει:

- NPV >0: Η επένδυση είναι βιώσιμη κάτω από τις δεδομένες συνθήκες. Η αποδοτικότητα είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και το σχέδιο επένδυσης είναι αποδεκτό.
- NPV =0: Η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με το επιτόκιο
- προεξόφλησης. Η αποδοτικότητα είναι οριακή και η αποδοχή του σχεδίου επένδυσης εξαρτάται και από άλλους παράγοντες.
- NPV <0: Η επένδυση είναι αντιοικονομική. Η αποδοτικότητα είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και το σχέδιο επένδυσης απορρίπτεται.

6.2.2 Κριτήριο Ενδογενούς Ποσοστού Απόδοσης (Internal rate of Return, IRR)

Το ενδογενές ποσοστό απόδοσης είναι ο συντελεστής επικαιροποίησης που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία της ροής. Είναι ένα μέτρο της απόδοσης μιας επένδυσης το οποίο αναφέρεται και ως επιτόκιο απόδοσης η συντελεστής εσωτερικής απόδοσης.

$$NPV_{\iota = IRR} = 0$$

Συγκρίνοντας την τιμή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης με το επίσημο επιτόκιο της αγοράς συμπεραίνεται η αποδοτικότητα ή μη του σχεδίου επένδυσης. Συγκεκριμένα [31]:

- IRR > i : Το σχέδιο γίνεται αποδεκτό
- IRR = : Το σχέδιο θεωρείται οριακό αποδεκτό και η αποδοχή του εξαρτάται και από άλλους παράγοντες.
- IRR < : Το σχέδιο απορρίπτεται.

Σε περίπτωση που υπάρχουν πολλά εναλλακτικό σχέδια επένδυσης επιλέγεται εκείνο που έχει τον υψηλότερο συντελεστή εσωτερικής απόδοσης. Ο συντελεστής είναι ένα υπολογιζόμενο επιτόκιο το οποίο υποδεικνύει το υψηλότερο επιτόκιο που θα μπορούσε να πληρώσει ο επενδυτικός φορέας ή επιχειρηματίας χωρίς να διακινδυνεύσει να χάσει όλα τα χρήματα που διέθεσε στην επένδυση. Δείχνει την πραγματική αποδοτικότητα της συνολικής επένδυσης και έτσι μπορεί να προσδιορίσει τους όρους του σχεδίου επένδυσης, δεδομένου ότι καθορίζει το μέγιστο επιτόκιο που θα μπορούσε να πληρωθεί από τον επενδυτή.

6.2.3 Κριτήριο περιόδου αποπληρωμής (Discounted payback period,DPP)

Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο κριτήριο αξιολόγησης επενδύσεων είναι η περίοδος αποπληρωμής της αρχικής δαπάνης. Η τιμή του κριτηρίου αυτού εκφράζει τον αριθμό των ετών που απαιτούνται για την ανάκτηση του αρχικού επενδυμένου κεφαλαίου μέσω του αθροιστικού (για μια σειρά ετών) καθαρού κέρδους της επιχείρησης. Για να δώσει το κριτήριο αυτό αξιόπιστα αποτελέσματα πρέπει η επιχείρηση να παρουσιάζει σχετικό ομοιόμορφο ύψος ετήσιου καθαρού κέρδους. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να αφαιρούνται διαδοχικό από την τιμή του κόστους επένδυσης τα ετήσια καθαρό κέρδη μέχρι την ανάκτηση του ποσού που αντιστοιχεί

στο κόστος επένδυσης. Το καθαρό κέρδος υπολογίζεται στην περίπτωση αυτή μετά την αφαίρεση των φόρων.
Οπωσδήποτε για να είναι αποδεκτό σύμφωνα με αυτό το κριτήριο ένα επενδυτικό σχέδιο, πρέπει ο χρόνος αποπληρωμής του να είναι πολύ μικρότερος από τον προβλεπόμενο χρονικό ορίζοντα λειτουργίας της επένδυσης.
Το σημαντικότερο πλεονέκτημα που χαρακτηρίζει το κριτήριο του χρόνου αποπληρωμής είναι ότι παρέχει γρήγορα και εύκολα χρήσιμες ενδεικτικές πληροφορίες σχετικό με τον κίνδυνο ανάληψης μιας επενδυτικής δραστηριότητας και τη ρευστότητα που αυτή συνεπάγεται. Η ρευστότητα που εξασφαλίζει η γρήγορη ανάκτηση των κεφαλαίων επιτρέπει στον επενδυτή να εκμεταλλευτεί άλλες επενδυτικές ευκαιρίες. Το κριτήριο αυτό παρουσιάζει δύο σημαντικό μειονεκτήματα καθώς δεν λαμβάνει υπ' όψιν τη χρονική αξία του χρήματος και αμελεί το ύψος των χρηματοροών μετά το χρόνο αποπληρωμής. [29]

6.2.4 Κόστος Παραγόμενου Νερού (ΚΠΝ)

Το κόστος του παραγόμενου νερού (€/m^3) υπολογίζεται [30]:

$$KΠN\ (€/m^3) = \frac{R \cdot\ KE + KΣΛ}{\mathrm{V}}$$

Όπου:
ΚΠΝ (€/m^3) είναι το κόστος του παραγόμενου νερού
ΚΕ (€) είναι το συνολικό κόστος της επένδυσης
ΚΣΛ (€) είναι το κόστος συντήρησης και λειτουργίας
V (m^3) είναι η ετήσια παραγόμενη ποσότητα νερού

$$R = \frac{i}{1-(1+i)^{-N}}$$

R είναι ο συντελεστής ετήσιας επιβάρυνσης κεφαλαίου
Όπου:
i είναι το επιτόκιο αναγωγής
Ν είναι ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης
Η παραπάνω έκφραση είναι χρήσιμη διότι δίνει ένα γρήγορο υπολογισμό χωρίς να απαιτεί πολλά δεδομένα.
Το κόστος του παραγόμενου νερού συγκρινόμενο με την τιμή αγοράς του νερού στην αγορά δίνει μια πρώτη ένδειξη αν η επένδυση θα είναι ή όχι συμφέρουσα.
Εάν ΚΠΝ < τιμή πώλησης : συμφέρουσα επένδυση
Εάν ΚΠΝ = τιμή πώλησης : οριακή αποδοτικότητα της επένδυσης, απαιτείται περαιτέρω ανάλυση, η τελική απόφαση θα κριθεί και από άλλους παράγοντες
Εάν ΚΠΝ > τιμή πώλησης : Μη συμφέρουσα επένδυση

6.2.5 Ανάλυση Ευαισθησίας

Με την τεχνική αυτή επιχειρείται η ποσοτική διερεύνηση των επιπτώσεων που θα έχει η διακύμανση μιας σημαντικής παραμέτρου στην οικονομικότητα της επένδυσης. Πολλές φορές οι επιπτώσεις αυτές αλληλοαναιρούνται, συχνά όμως μπορούν να οδηγήσουν σε ουσιαστική ανατροπή των αρχικών συμπερασμάτων σε σχέση με τη σκοπιμότητα προώθησης του σχεδίου επένδυσης. Συγκεκριμένα σε μια

ανάλυση ευαισθησίας, υπολογίζεται η τιμή του κριτηρίου της οικονομικής αποδοτικότητας που μελετάται για μια σειρά τιμών που πιθανά θα λάβει η παράμετρος αυτή στο μέλλον- Το εύρος των τιμών που εξετάζεται είναι τέτοιο ώστε να συμπεριλαμβάνει όλες τις δυνατές αποκλίσεις γύρω από την εκτιμώμενη πιθανότερη τιμή. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας ανάλυσης μας πληροφορεί για την πιθανότητα να προκύψει η μια ή η άλλη τιμή οικονομικής αποδοτικότητας, αλλά αναδεικνύει τη σοβαρότητα που μπορεί να έχει μια λάθος εκτίμηση σε σχέση με τη μελλοντική τιμή της εξεταζόμενης παραμέτρου.

6.3 Τεχνοοικονομική Μελέτη

6.3.1 Παραδοχές

Το κόστος της μονάδας αφαλάτωσης θεωρήθηκε 900€ ανά εγκατεστημένο m^3 την μέρα.[32] Το κόστος των συλλεκτών θεωρήθηκε 70€ ο καθένας. Το κόστος της γης θεωρήθηκε 300,000€. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις της μονάδας θεωρήθηκαν $3kWh_{el}/m^3$ [33] και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας $0.13€/kWh_{el}$. Το κόστος λειτουργίας έχει τις ηλεκτρικές καταναλώσεις της κάθε περίπτωσης και το κόστος συντήρησης θεωρήθηκε 1% του αρχικού κεφαλαίου για κάθε περίπτωση. Το επιτόκιο αναγωγής (i) θεωρήθηκε 8%. Το κόστος της αποθήκευσης θεωρήθηκε 10.000€ για την περίπτωση της τρίωρης αποθήκευσης και 35.000€ την περίπτωση της δεκάωρης αποθήκευσης.

6.3.2 Αποτελέσματα

6.3.2.1 Κόστος Παραγόμενου Νερού χωρίς αποθήκευση

Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε το κόστος του παραγόμενου νερού.

	7stage-75°C	8 stage-80°C	9 stage-85°C	
U_L4	2.6197	2.5696	2.5494	€/m^3
U_L5	2.7862	2.8547	2.8946	€/m^3

Πίνακας 6.3.2.1.1 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες

	9stage-75°C	10 stage-80°C	11 stage-85°C	
U_L4	2.4606	2.5020	2.5141	€/m^3
U_L5	2.6442	2.6950	2.7705	€/m^3

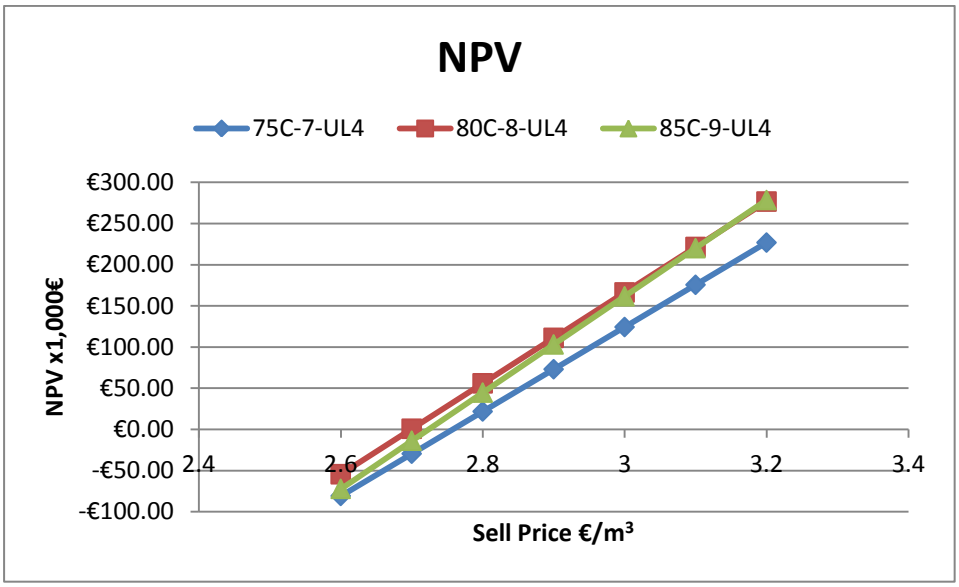
Πίνακας 6.3.2.1.2 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες

Το κόστος του παραγόμενου νερού είναι σε ψηλή τιμή λόγω του ότι η διαστασιολόγιση της μονάδας έγινε με δεδομένο τη μέγιστη παραγωγή νερού όπως φαίνεται στο γράφημα 5.3.16 έτσι καταλήγουμε στο να γίνεται υπερδιαστασιολόγηση της μονάδας με αποτέλεσμα να είναι πολύ αυξημένο το αρχικό κόστος εγκατάστασης.

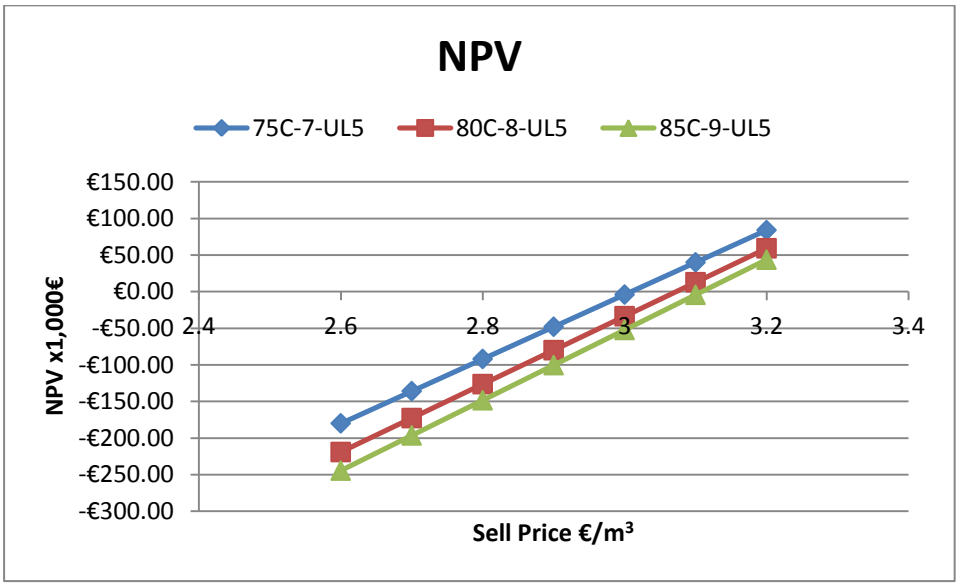
Λόγο αυτού αποφασίσαμε να μελετήσουμε και περιπτώσεις αποθήκευσης του εργαζόμενου ρευστού και θα τις δούμε στη συνέχεια.

Για διάφορες τιμές πώλησης του παραγόμενου νερού (ώστε να βαίνει συμφέρουσα η επένδυση) προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

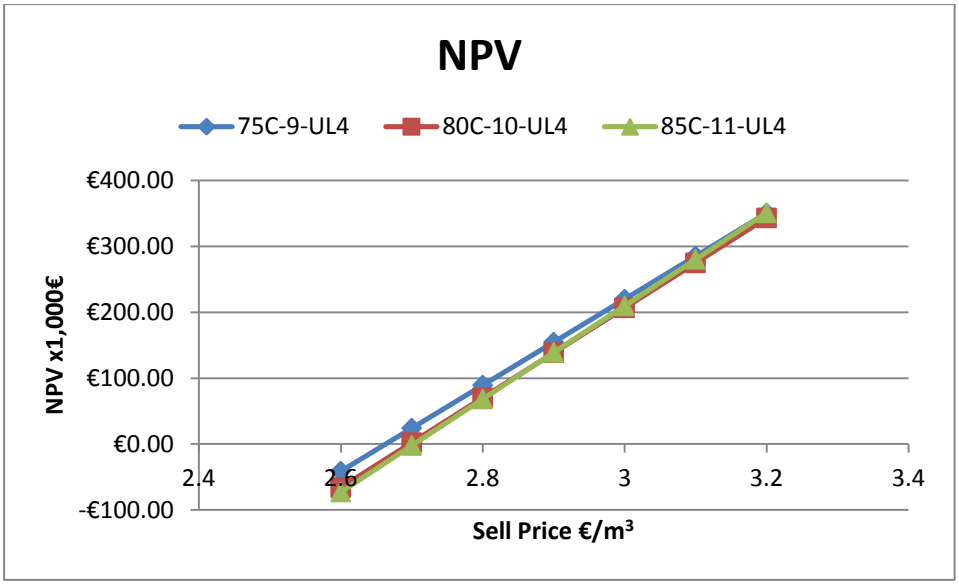
6.3.2.2 NPV χωρίς αποθήκευση



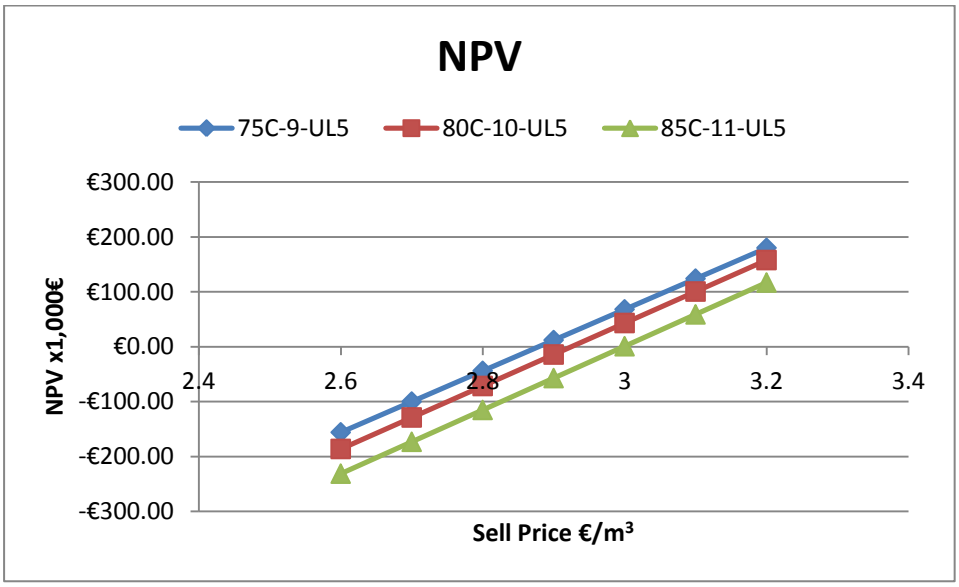
Γράφημα 6.3.2.2.1 NPV για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 χωρίς αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.2.2 NPV για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 χωρίς αποθήκευση

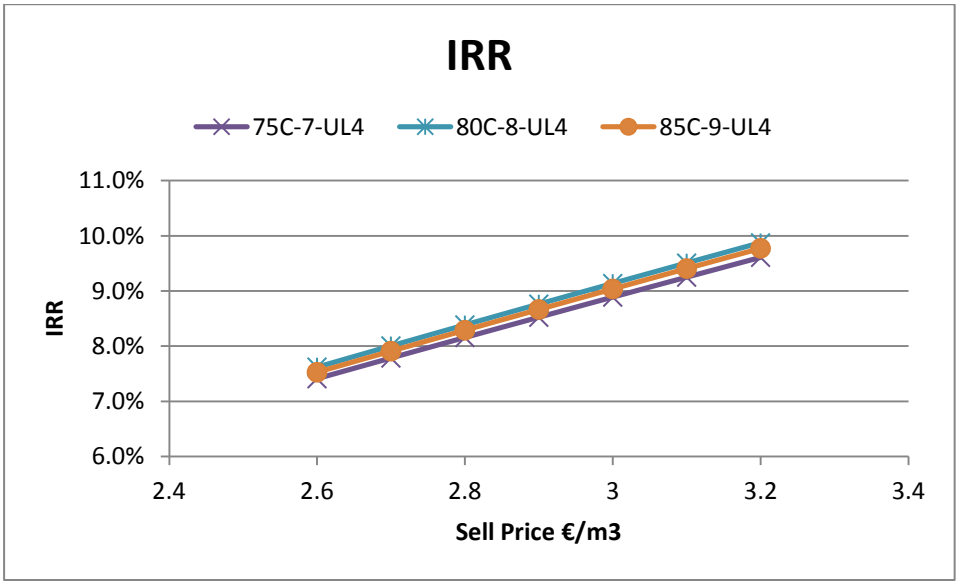


Γράφημα 6.3.2.2.3 NPV για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=4 χωρίς αποθήκευση

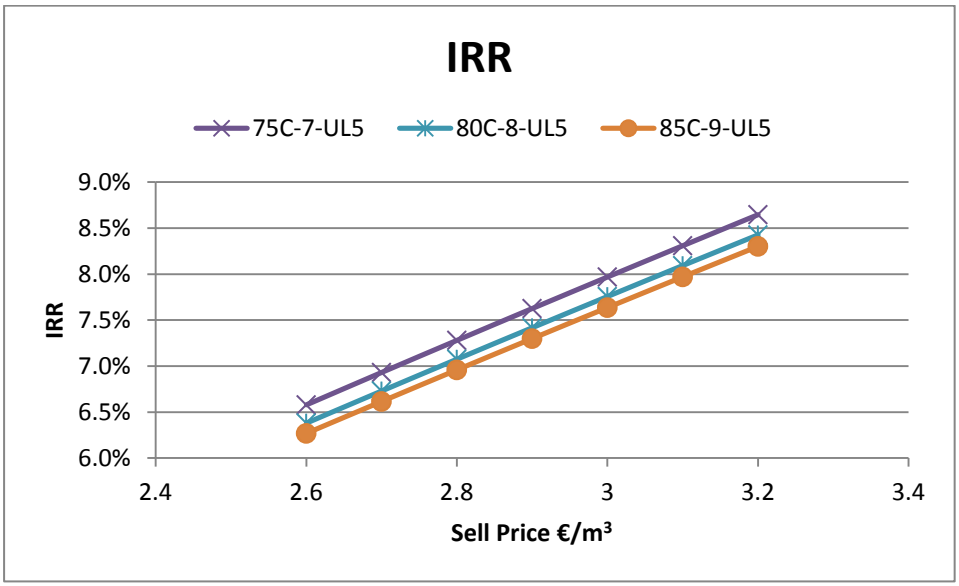


Γράφημα 6.3.2.2.4 NPV για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=5 χωρίς αποθήκευση

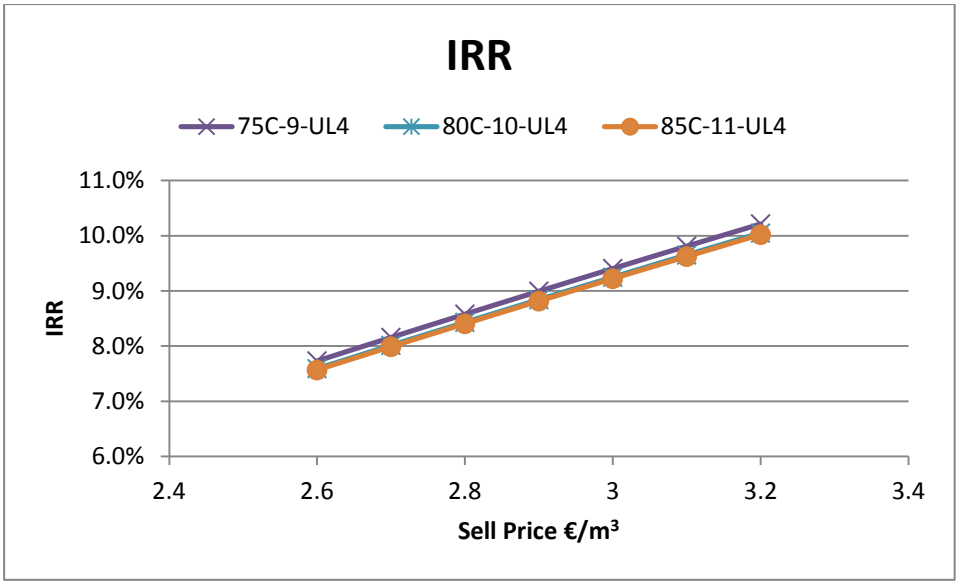
6.3.2.3 IRR χωρίς αποθήκευση



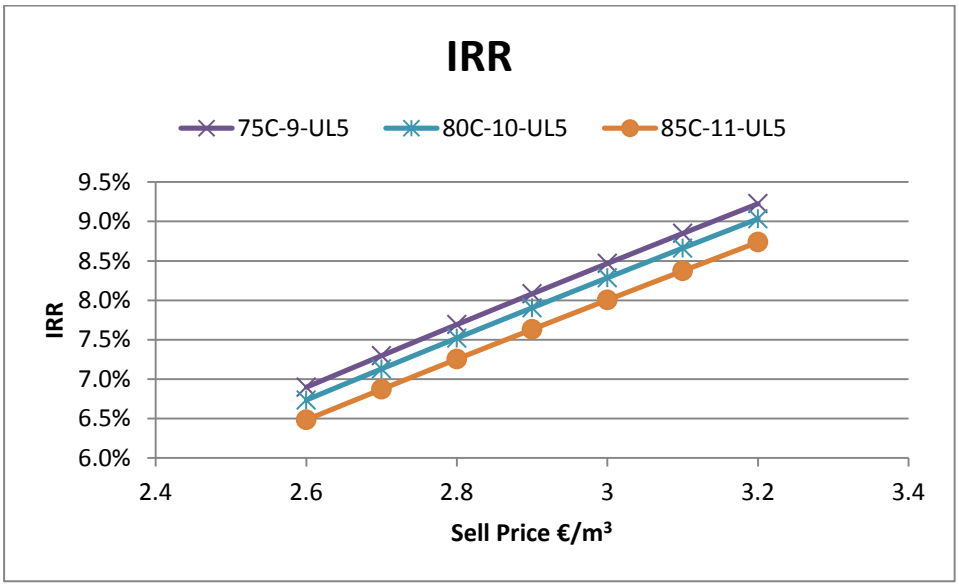
Γράφημα 6.3.2.3.1 IRR για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 χωρίς αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.3.2 IRR για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 χωρίς αποθήκευση

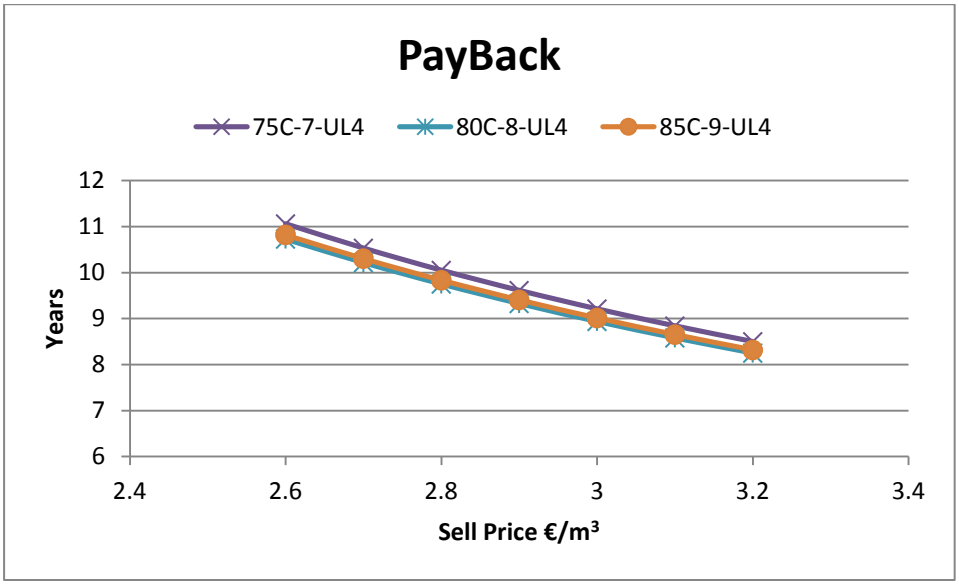


Γράφημα 6.3.2.3.3 IRR για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=4 χωρίς αποθήκευση

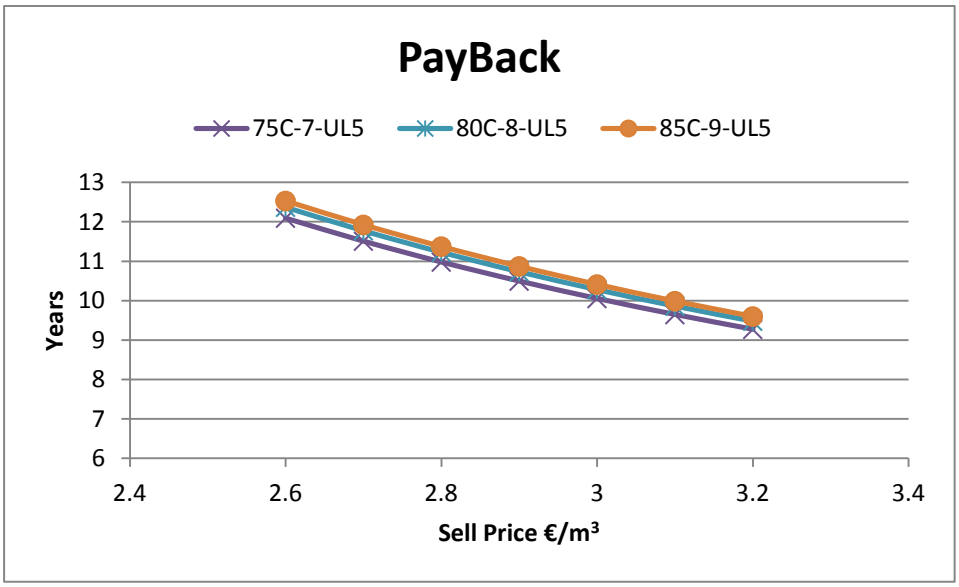


Γράφημα 6.3.2.3.4 IRR για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=5 χωρίς αποθήκευση

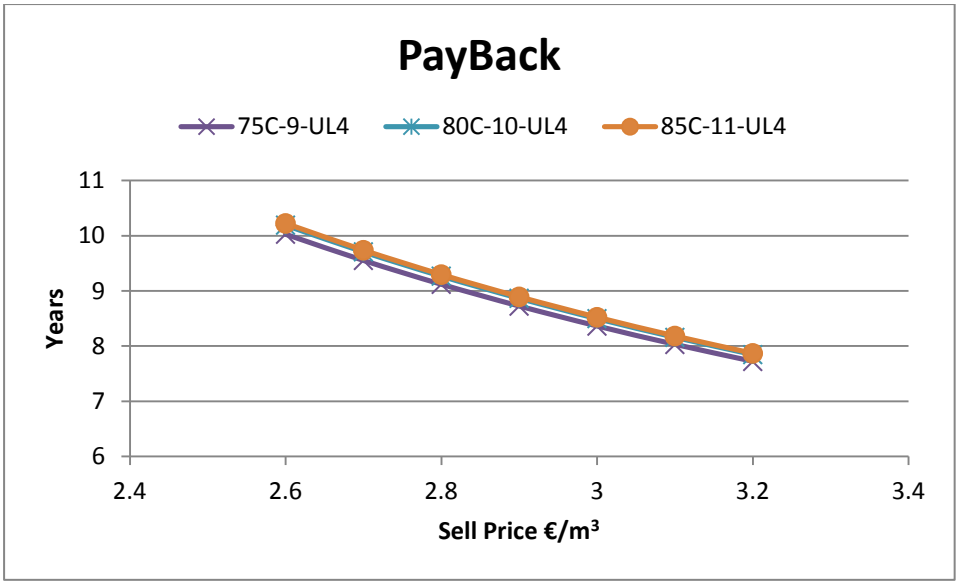
6.3.2.4 Payback Period χωρίς αποθήκευση



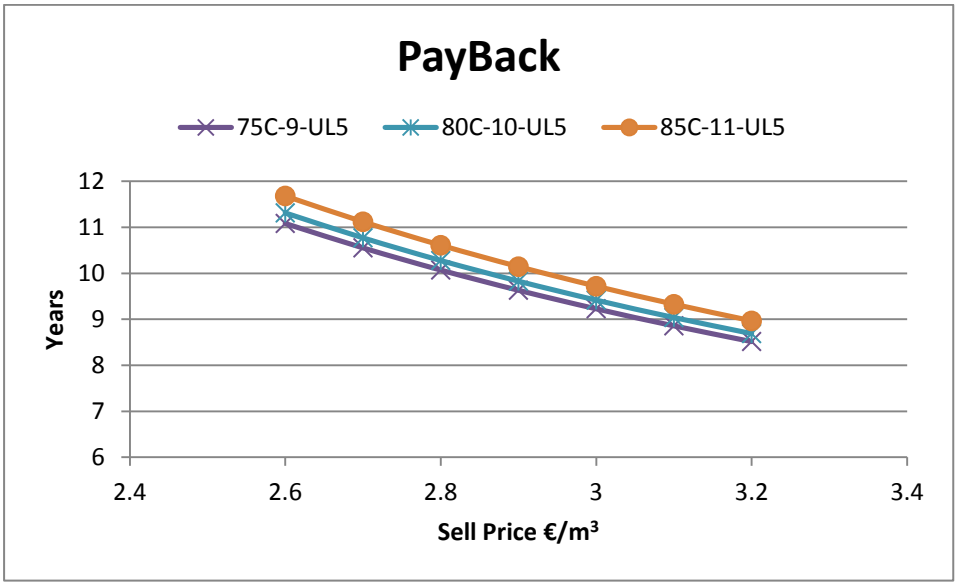
Γράφημα 6.3.2.4.1 Payback Period για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 χωρίς αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.4.2 Payback Period για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 χωρίς αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.4.3 Payback Period για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=4 χωρίς αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.4.4 Payback Period για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=5 χωρίς αποθήκευση

6.3.2.5 Κόστος Παραγόμενου Νερού με τρίωρη αποθήκευση

Στην περίπτωση που έχουμε τρίωρη αποθήκευση του εργαζόμενου ρευστού έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

	7stage-75°C	8 stage-80°C	9 stage-85°C	
U_L4	2.1106	2.0427	2.0011	€/m³
U_L5	2.2604	2.1637	2.1653	€/m³

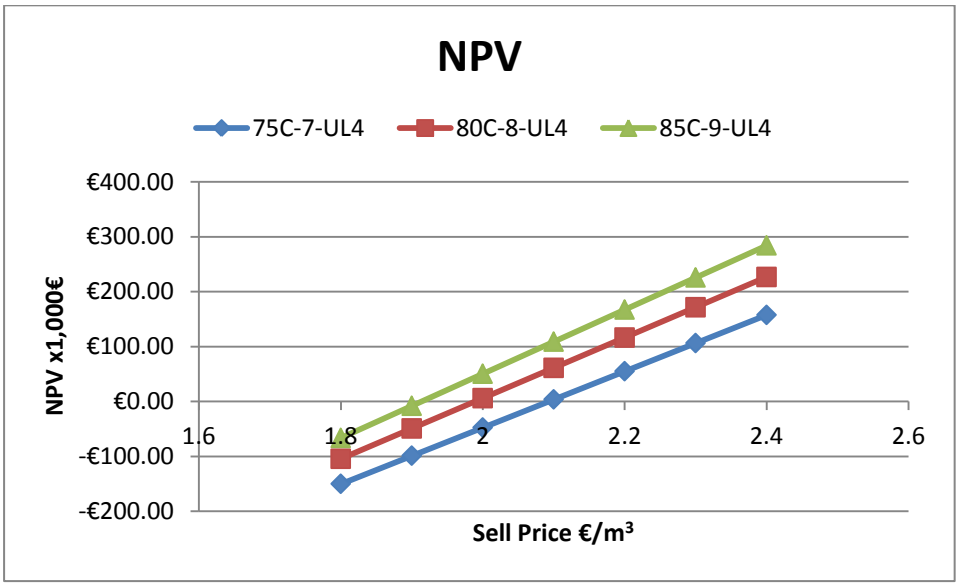
Πίνακας 6.3.2.5.1 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες με τρίωρη αποθήκευση

	9stage-75°C	10 stage-80°C	11 stage-85°C	
U_L4	1.9239	1.8577	1.8498	€/m³
U_L5	2.0187	1.9805	2.0131	€/m³

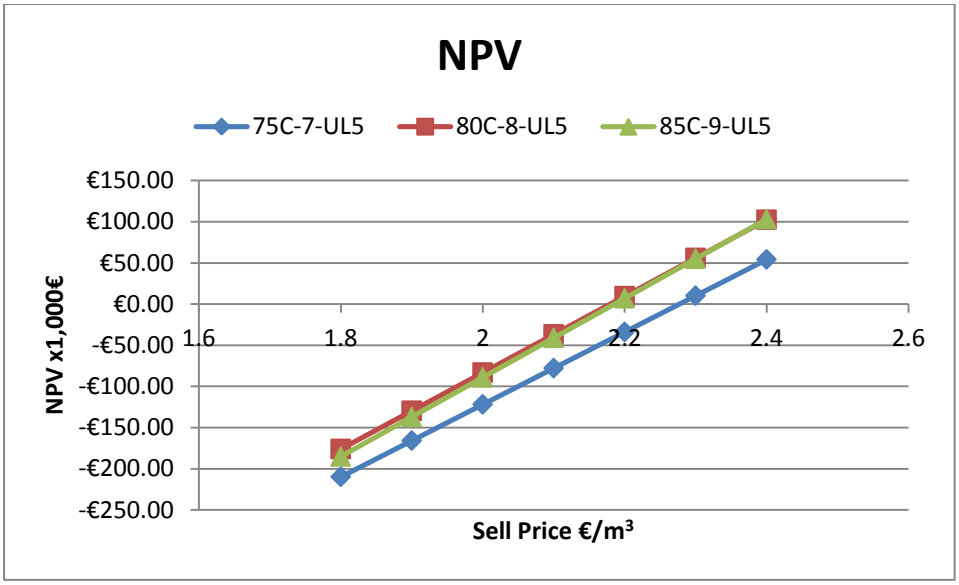
Πίνακας 6.3.2.5.2 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες με τρίωρη αποθήκευση

Όπως παρατηρούμε ότι με τη χρήση αποθήκευσης το κόστος μειώνεται κατά 0.6€/m^3 περίπου επειδή έτσι μειώνεται η συνολική εγκατεστημένη παροχή στη μονάδα της αφαλάτωσης και άρα το συνολικό κόστος εγκατάστασης.
Για διάφορες τιμές πώλησης του παραγόμενου νερού (ώστε να βαίνει συμφέρουσα η επένδυση) προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

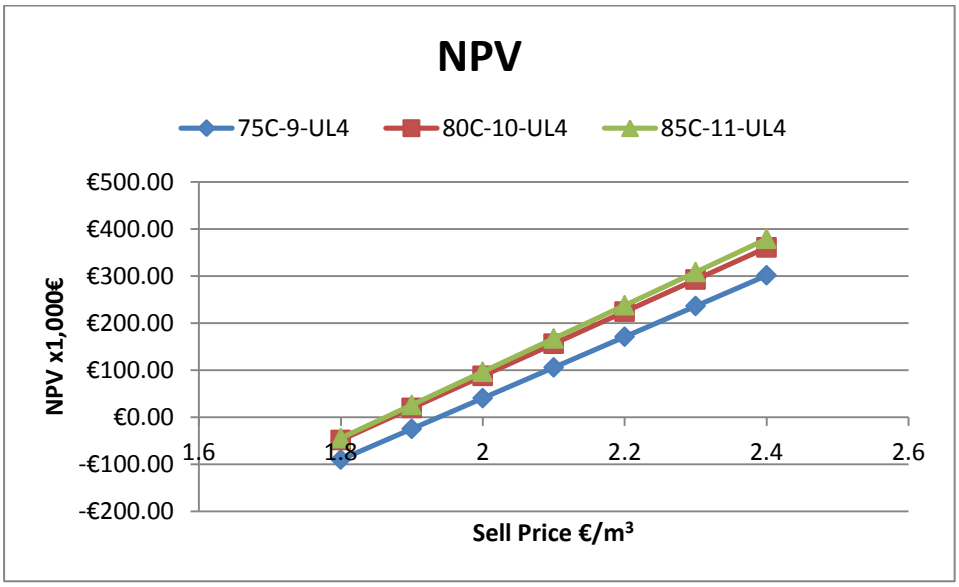
6.3.2.6 NPV με τρίωρη αποθήκευση



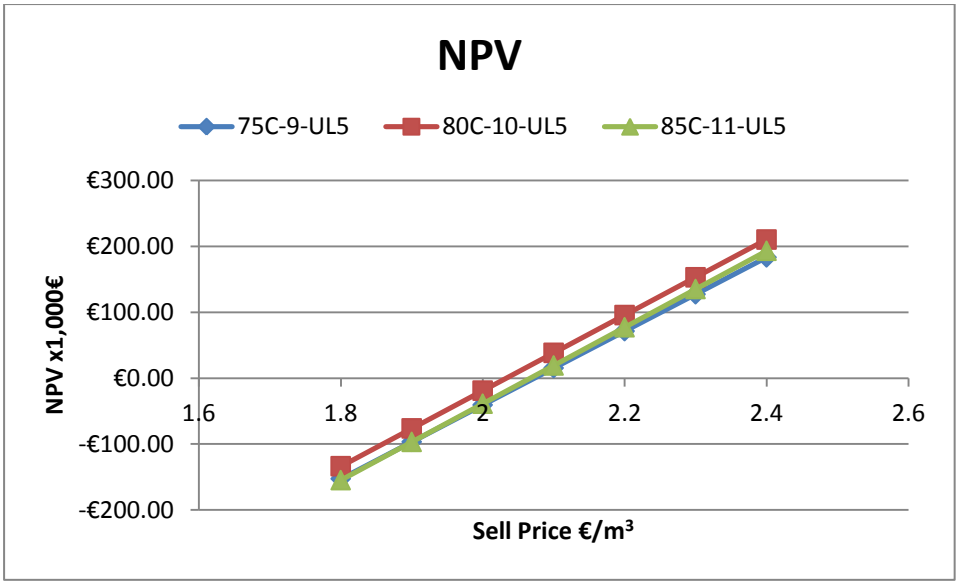
Γράφημα 6.3.2.6.1 NPV για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 με τρίωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.6.2 NPV για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 με τρίωρη αποθήκευση

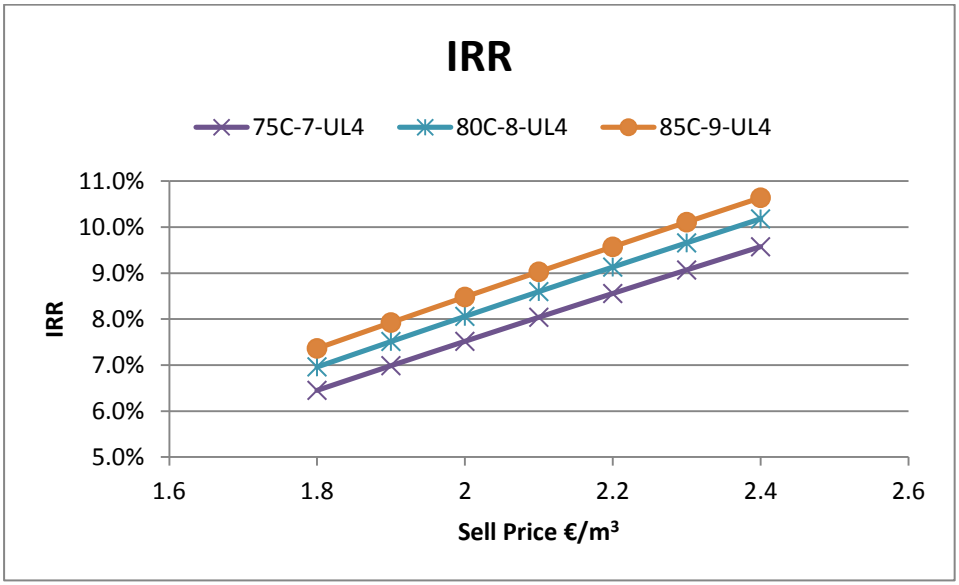


Γράφημα 6.3.2.6.3 NPV για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=4 με τρίωρη αποθήκευση

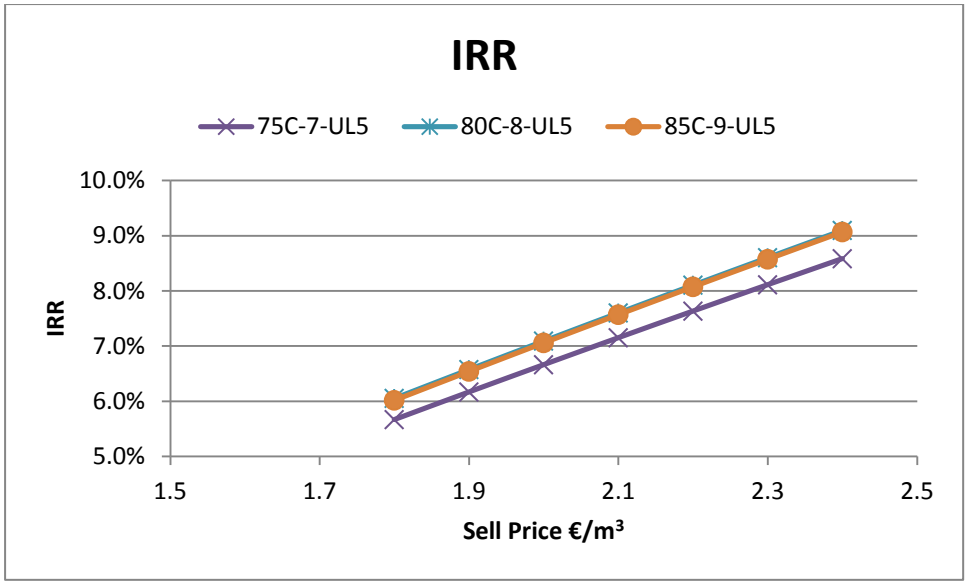


Γράφημα 6.3.2.6.4 NPV για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=5 με τρίωρη αποθήκευση

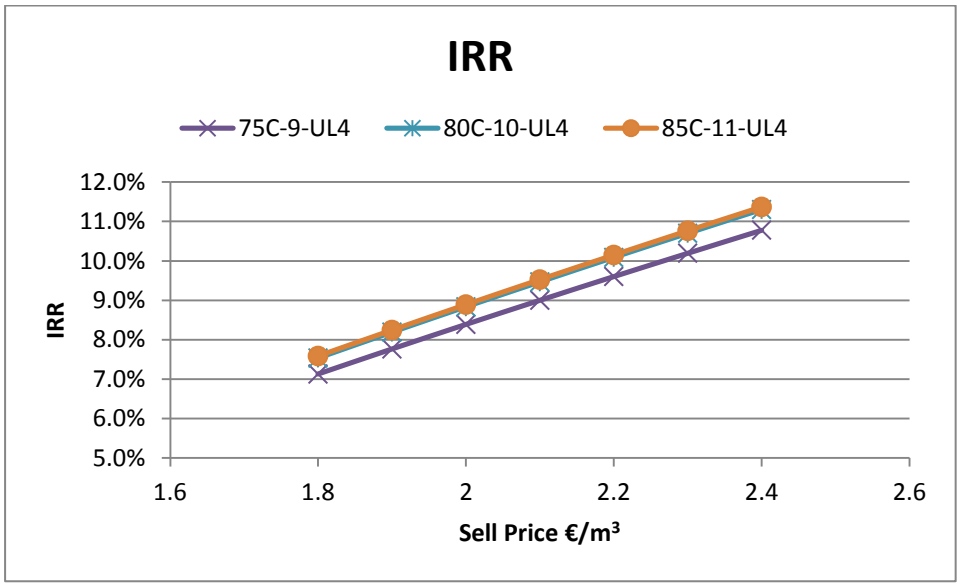
6.3.2.7 IRR με τρίωρη αποθήκευση



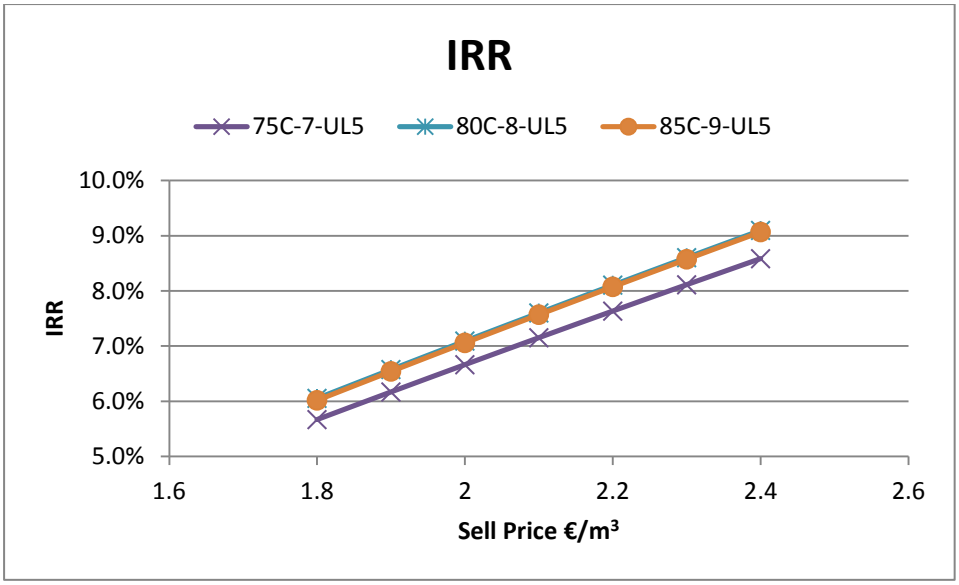
Γράφημα 6.3.2.7.1 IRR για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 με τρίωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.7.2 IRR για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 με τρίωρη αποθήκευση

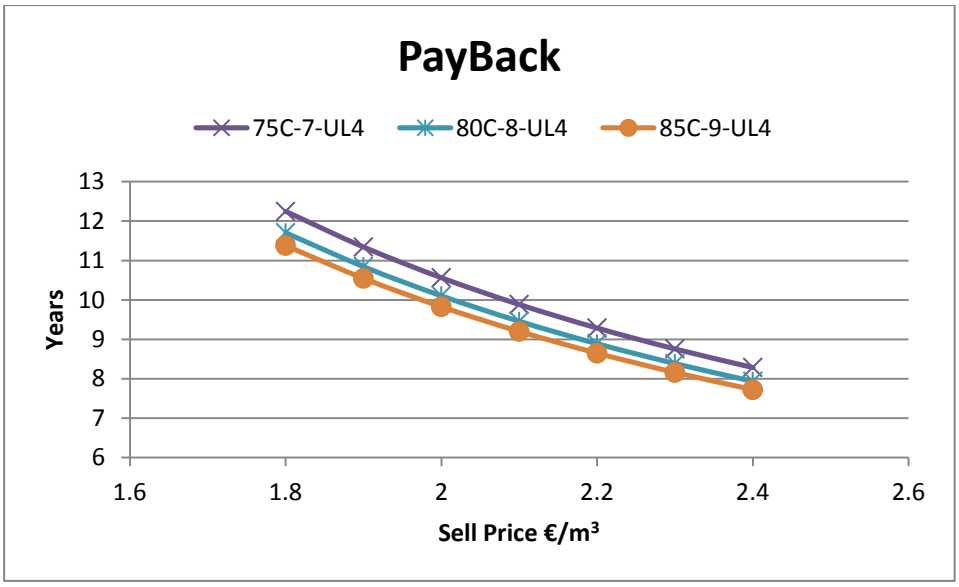


Γράφημα 6.3.2.7.3 IRR για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=4 με τρίωρη αποθήκευση

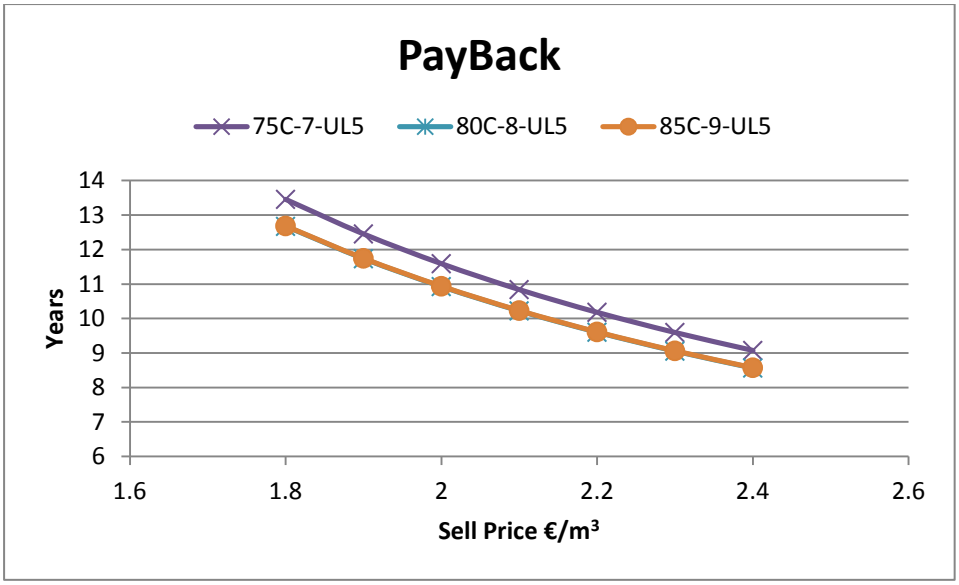


Γράφημα 6.3.2.7.4 IRR για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=5 με τρίωρη αποθήκευση

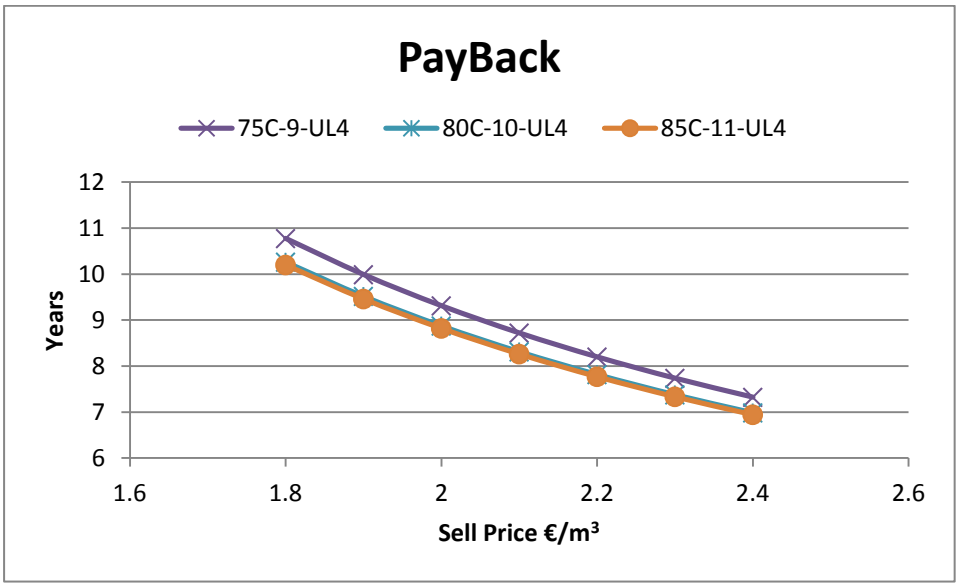
6.3.2.8 Payback Period με τρίωρη αποθήκευση



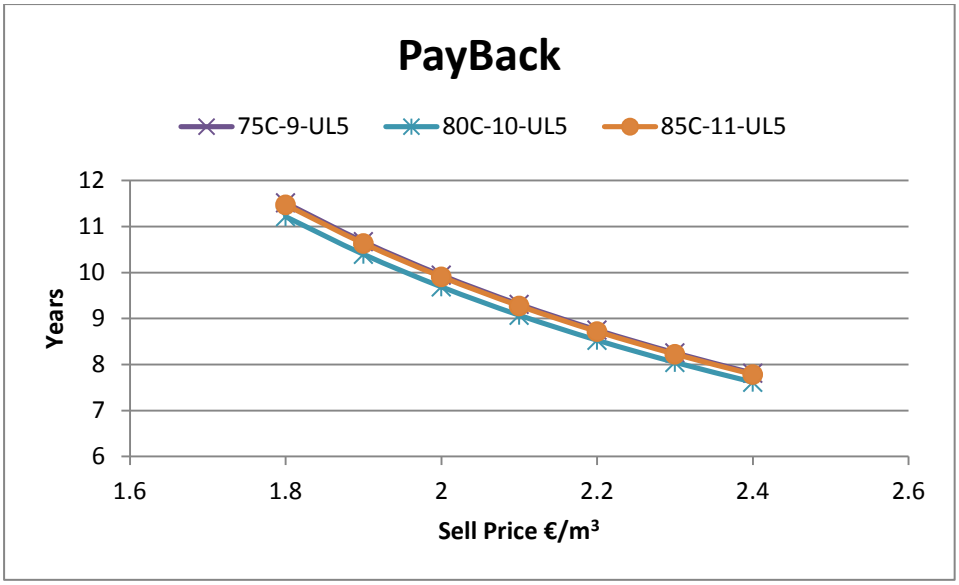
Γράφημα 6.3.2.8.1 Payback Period για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 με τρίωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.8.2 Payback Period για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 με τρίωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.8.3 Payback Period για 9,10 και 11βαθμίδες και U_L=4 με τρίωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.8.4 Payback Period για 9,10 και 11βαθμίδες και U_L=5 με τρίωρη αποθήκευση

6.3.2.9 Κόστος Παραγόμενου Νερού με δεκάωρη αποθήκευση

Στην περίπτωση που έχουμε δεκάωρη αποθήκευση του εργαζόμενου ρευστού έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

	7stage-75°C	8 stage-80°C	9 stage-85°C	
U_L4	1.6789	1.6415	1.6224	€/m^3
U_L5	1.8247	1.8147	1.8281	€/m^3

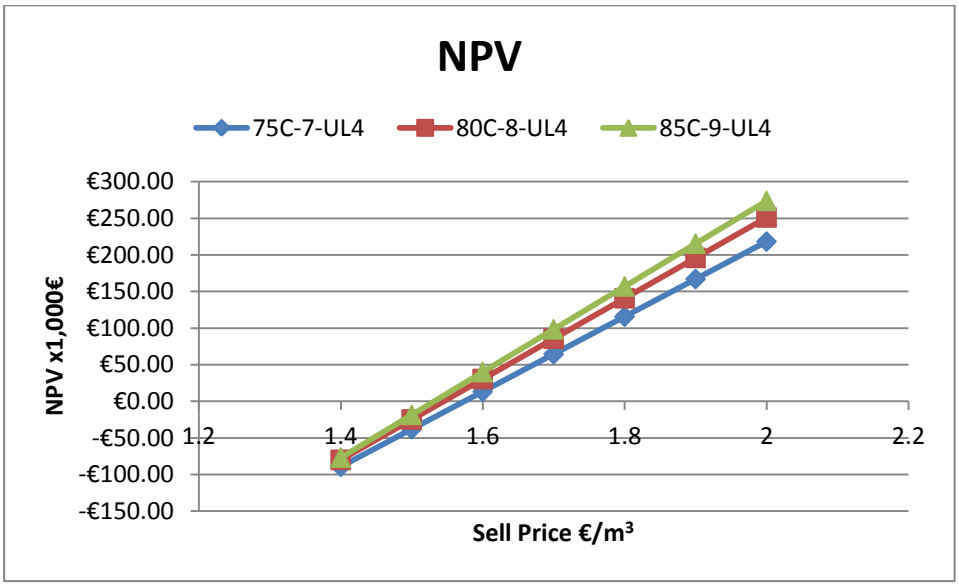
Πίνακας 6.3.2.9.1 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες με δεκάωρη αποθήκευση

	9stage-75°C	10 stage-80°C	11 stage-85°C	
U_L4	1.5392	1.5332	1.5363	€/m^3
U_L5	1.6233	1.6462	1.6828	€/m^3

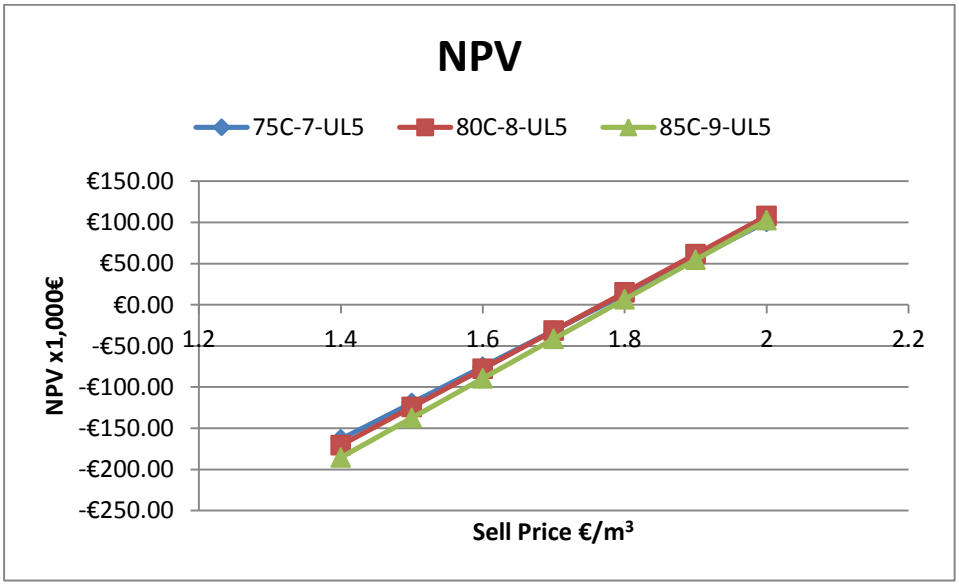
Πίνακας 6.3.2.9.2 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες με δεκάωρη αποθήκευση

Όπως παρατηρούμε ότι με τη χρήση μεγαλύτερης αποθήκευσης το κόστος μειώνεται κατά 0.4€/m^3 περίπου επειδή έτσι μειώνεται περεταίρω η συνολική εγκατεστημένη παροχή και άρα το συνολικό κόστος εγκατάστασης.
Για διάφορες τιμές πώλησης του παραγόμενου νερού (ώστε να βαίνει συμφέρουσα η επένδυση) προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

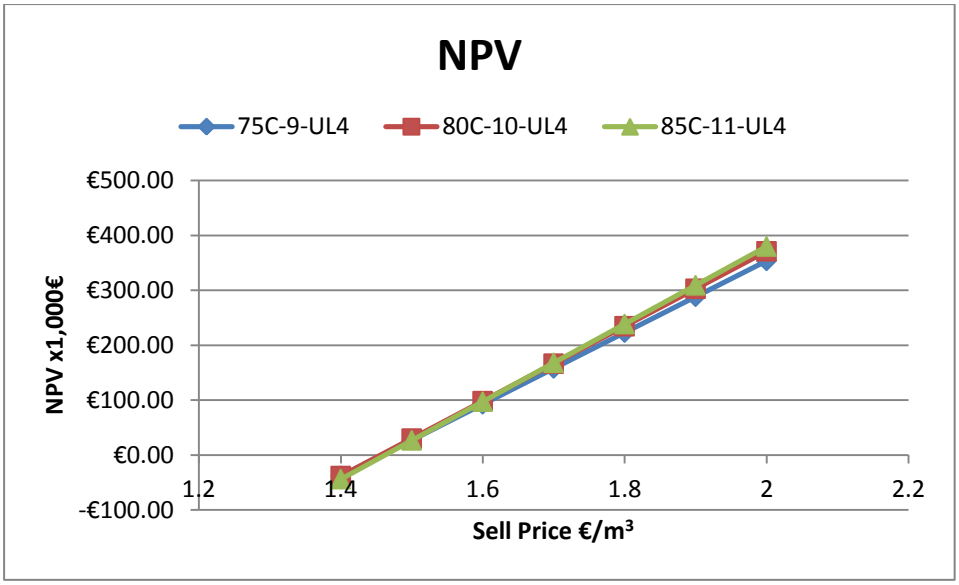
6.3.2.10 NPV με δεκάωρη αποθήκευση



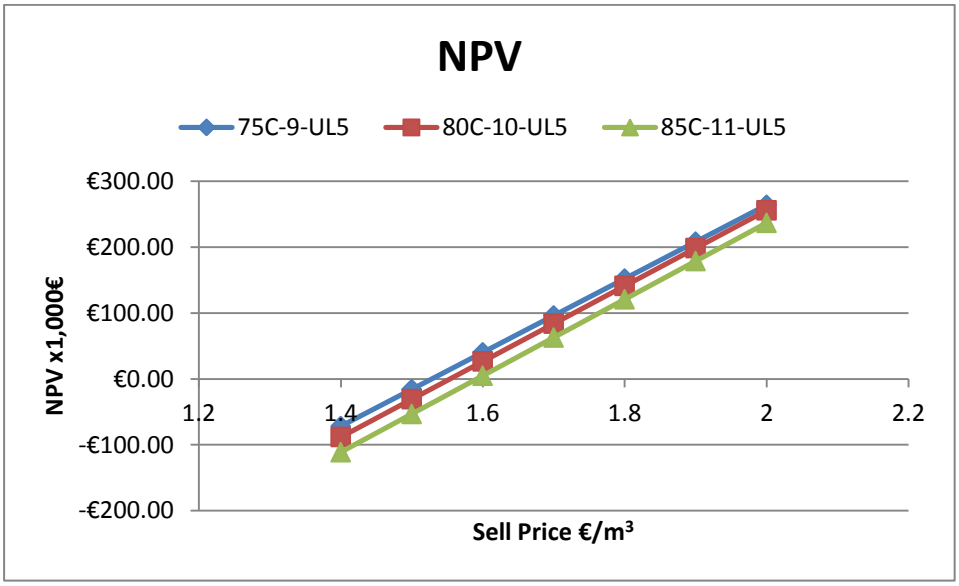
Γράφημα 6.3.2.10.1 NPV για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 με δεκάωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.10.2 NPV για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 με δεκάωρη αποθήκευση

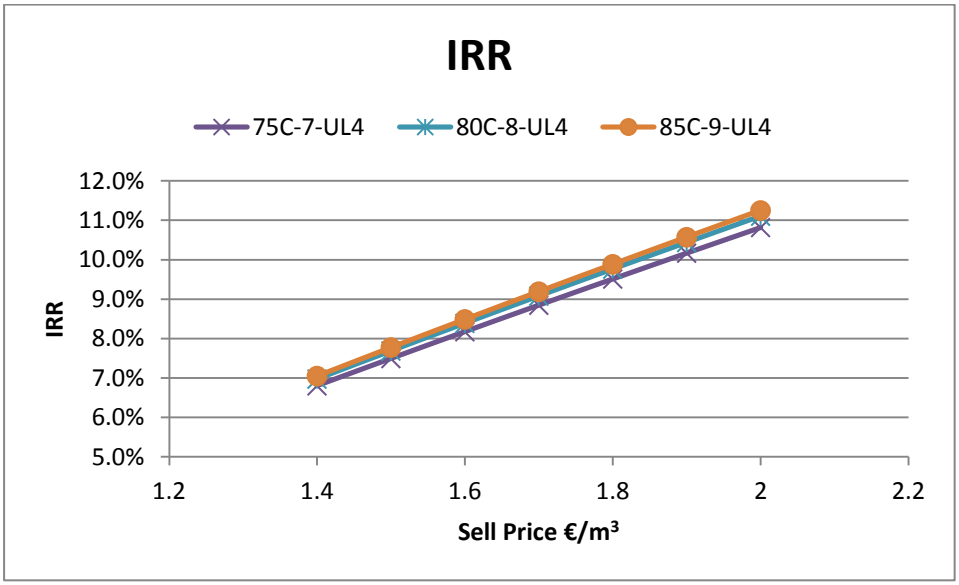


Γράφημα 6.3.2.10.3 NPV για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=4 με δεκάωρη αποθήκευση

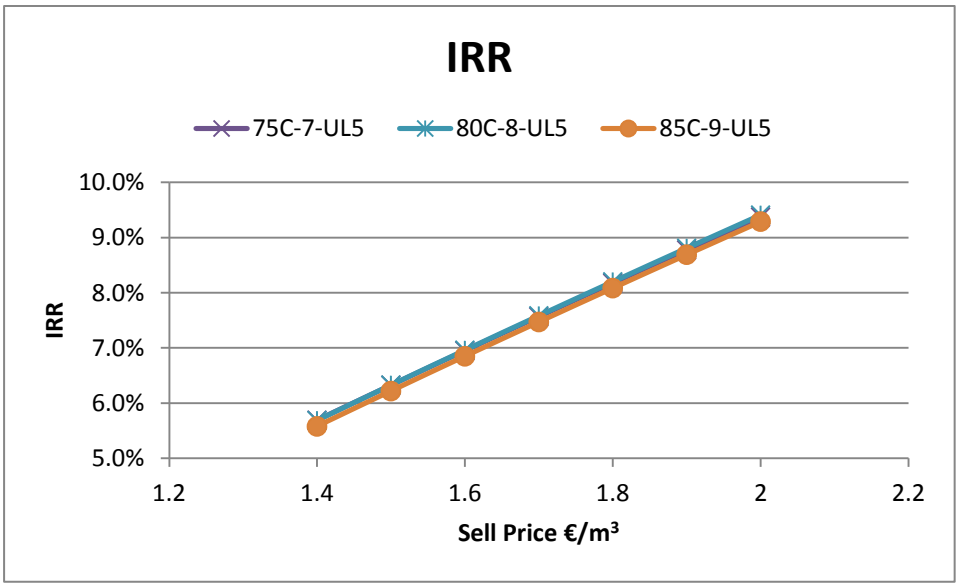


Γράφημα 6.3.2.10.4 NPV για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=5 με δεκάωρη αποθήκευση

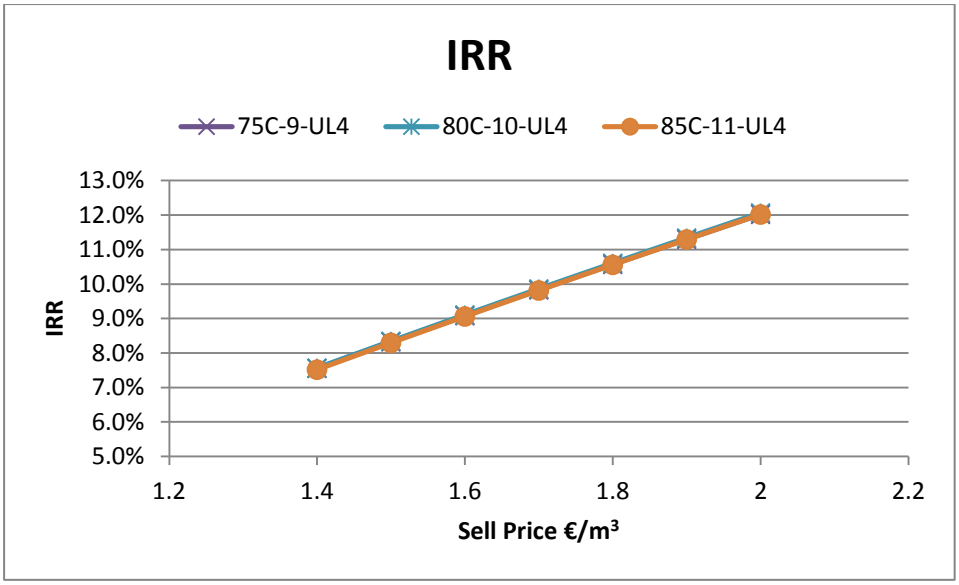
6.3.2.11 IRR με δεκάωρη αποθήκευση



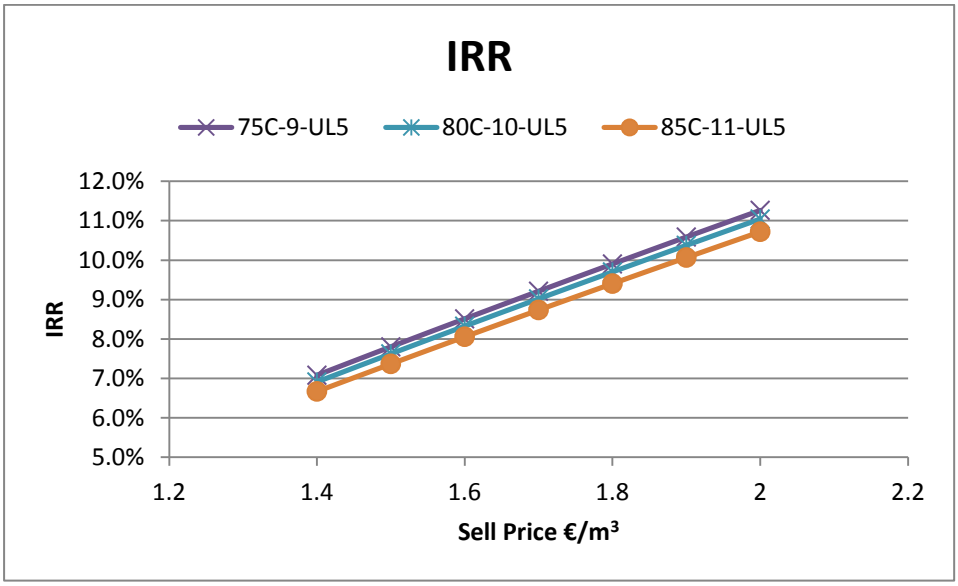
Γράφημα 6.3.2.11.1 IRR για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 με δεκάωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.11.2 IRR για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 με δεκάωρη αποθήκευση

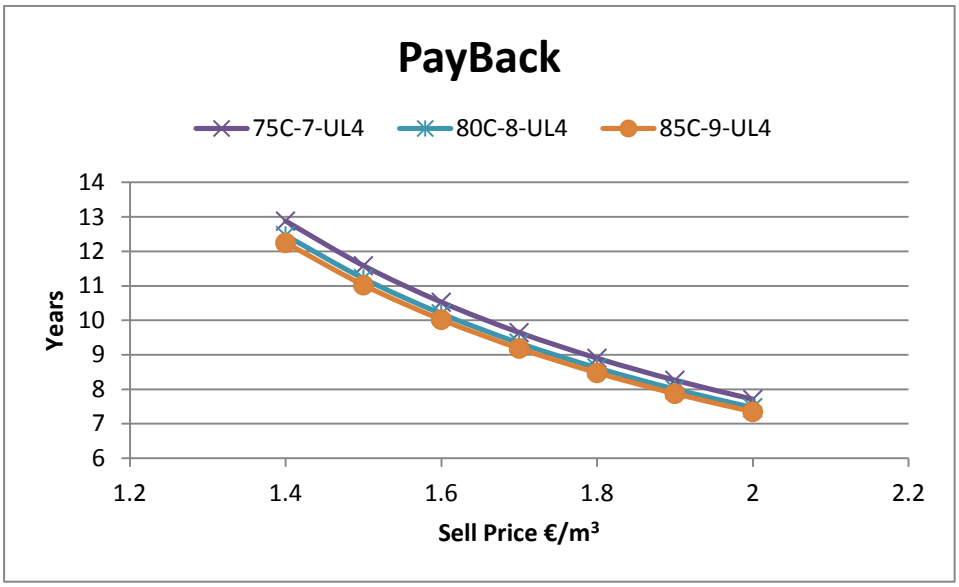


Γράφημα 6.3.2.11.3 IRR για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=4 με δεκάωρη αποθήκευση

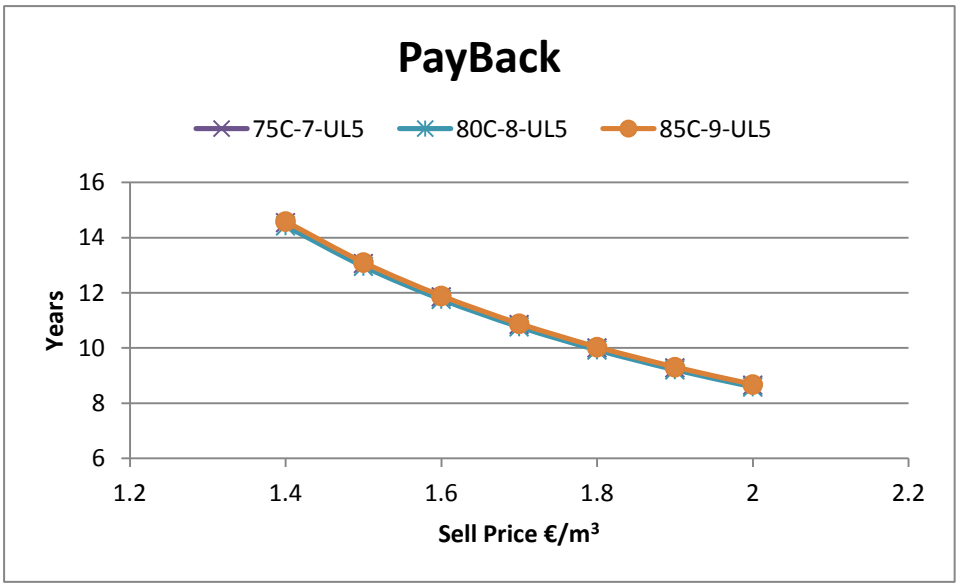


Γράφημα 6.3.2.11.4 IRR για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=5 με δεκάωρη αποθήκευση

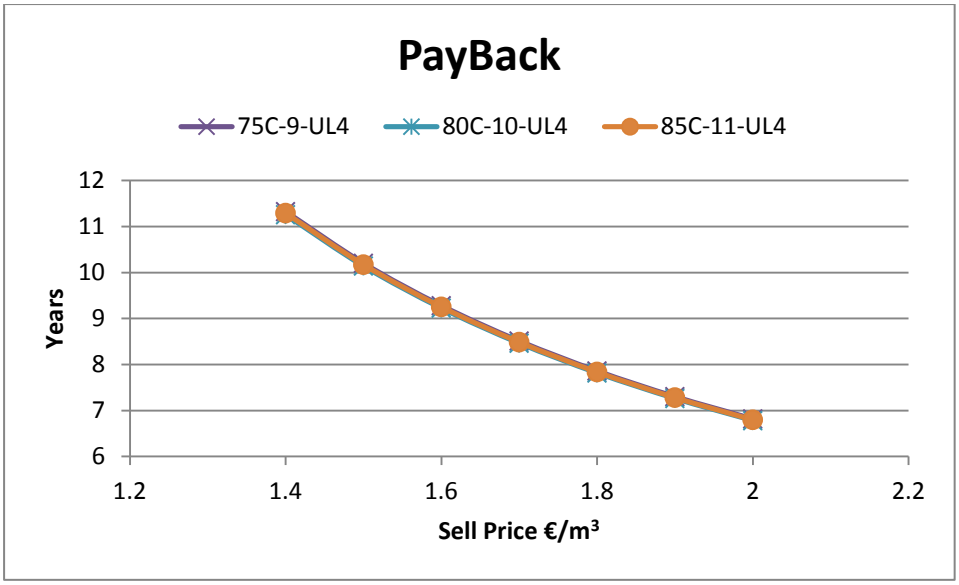
6.3.2.12 Payback Period με δεκάωρη αποθήκευση



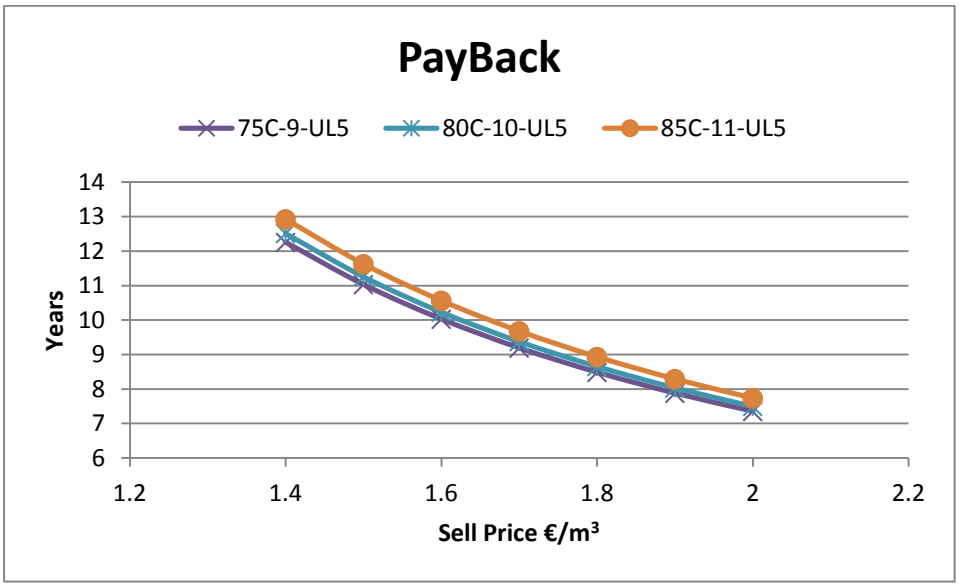
Γράφημα 6.3.2.12.1 Payback Period για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=4 με τρίωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.12.2 Payback Period για 7,8 και 9 βαθμίδες και U_L=5 με τρίωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.12.3 Payback Period για 9,10 και 11βαθμίδες και U_L=4 με τρίωρη αποθήκευση



Γράφημα 6.3.2.12.4 Payback Period για 9,10 και 11 βαθμίδες και U_L=5 με τρίωρη αποθήκευση

6.4 Σύγκριση με αυτόνομη μονάδα αντίστροφης όσμωσης

Θα μελετήσουμε την περίπτωση που η μονάδα είναι τελείως αυτόνομη δηλαδή γίνεται χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της μονάδας και θα συγκρίνουμε αυτή την περίπτωση με τη μελέτη για μια υβριδική μονάδα που κάνει χρήση ηλιακού θερμικού κύκλου ORC και μετατροπή από θερμική ενεργεία σε μηχανική ενέργεια για τις ανάγκες των αντλιών αντίστροφης όσμωσης. Για τις ηλεκτρικές ανάγκες γίνεται χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ.[34] Η μελέτη αυτή έγινε για το νησί της Χάλκης που ανήκει στα Δωδεκάνησα ,βρίσκεται 8 χιλιόμετρα δυτικά της Ρόδου και έχει 478 κατοίκους (απογραφή 2011). [35]

Τα ηλιακά δεδομένα της Κύπρου είναι παρόμοια και στη Κρήτη και Ρόδο άρα αυτός ο παράγοντας επηρεάζει ελάχιστα τους υπολογισμούς.

Οι αλλαγές που έγιναν σε σχέση με τους προηγούμενους υπολογισμούς είναι: Το κόστος των φωτοβολταϊκών θεωρήθηκε 2000 €/kWh$_{el}$. Το κόστος της γης θεωρήθηκε μηδενικό για λόγους συγκρίσεως.

Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε το κόστος του παραγόμενου νερού χωρίς τη χρήση αποθήκευσης.

	7stage-75°C	8 stage-80°C	9 stage-85°C	
U_L4	2.6297	2.6011	2.6547	€/m^3
U_L5	3.0196	3.0412	3.1695	€/m^3

Πίνακας 6.4.1 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες

	9stage-75°C	10 stage-80°C	11 stage-85°C	
U_L4	2.4990	2.5591	2.5891	€/m^3
U_L5	2.8671	2.9912	3.0897	€/m^3

Πίνακας 6.4.2 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες

Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε το κόστος του παραγόμενου νερού με τη χρήση τρίωρης αποθήκευσης.

	7stage-75°C	8 stage-80°C	9 stage-85°C	
U_L4	1.8555	1.8254	1.8161	€/m^3
U_L5	2.1172	2.1184	2.1487	€/m^3

Πίνακας 6.4.3 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες

	9stage-75°C	10 stage-80°C	11 stage-85°C	
U_L4	1.7480	1.7039	1.7191	€/m^3
U_L5	1.9918	1.9738	2.0307	€/m^3

Πίνακας 6.4.4 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες

Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε το κόστος του παραγόμενου νερού με τη χρήση δεκάωρης αποθήκευσης.

	7stage-75°C	8 stage-80°C	9 stage-85°C	
U_L4	1.4044	1.4063	1.4204	€/m^3
U_L5	1.5914	1.6198	1.6671	€/m^3

Πίνακας 6.4.5 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 7,8 και 9 βαθμίδες

	9stage-75°C	10 stage-80°C	11 stage-85°C	
U_L4	1.3460	1.3648	1.3916	€/m^3
U_L5	1.5232	1.5705	1.6320	€/m^3

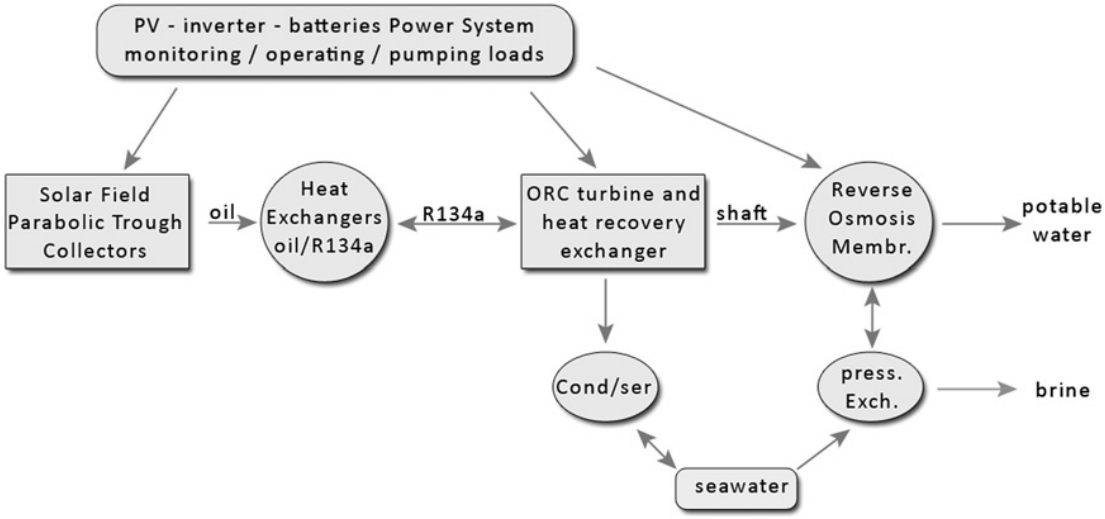
Πίνακας 6.4.6 Κόστος Παραγόμενου Νερού για 9,10 και 11 βαθμίδες

Η μονάδα στη Χάλκη χρησιμοποιεί παραβολικούς συλλέκτες (PTC) που εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση ακτινοβολία (Direct) και το εργαζόμενο μέσο είναι λάδι.

Ο βαθμός απόδοσης των συλλεκτών υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\eta = \eta_{opl}\, K_{\tau\alpha} - (\alpha + cV_{wind})\frac{(T_{ab} - T_a)}{I_{direct}} - \varepsilon_{ab}\, b\, \frac{(T_{ab}^4 - T_{sky}^4)}{I_{direct}}$$

Το λάδι εξέρχεται από τους συλλέκτες σε θερμοκρασία 140-200°C και στη συνέχεια μπαίνει σε εναλλάκτη όπου αλλάζει το εργαζόμενο μέσο αλλάζει σε R134a και έχει θερμοκρασία άνω των 110 ^{o}C. [34]



Σχήμα 6.4.7 Σχηματική διάταξη του υβριδικού συστήματος [34]

Η ονομαστική θερμική ισχύς εισόδου του συστήματός είναι 3.6MW$_{th}$ και η επιφάνεια των συλλεκτών είναι 8600m^2.

Το κόστος επένδυσης για αυτή τη μονάδα είναι 2,300,000€, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι 18,000€/χρόνο. Το κόστος του παραγόμενου νερού είναι 10.17€/ m^3. [34]

Για μια μονάδα που χρησιμοποιεί μόνο αντίστροφη όσμωση και φωτοβολταϊκά για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών το κόστος του παραγόμενου νερού είναι 4.74€/m^3. [36] Για μια μονάδα που χρησιμοποιεί μόνο αντίστροφη όσμωση και αιολική ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών το κόστος του παραγόμενου νερού είναι 2€/m^3. [34] Οι μονάδες αντίστροφης όσμωσης με ανάκτηση ενέργειας έχουν ειδική κατανάλωση ενέργειας 5 kWh$_{el}$/m^3 με προοπτική να μειωθεί και άλλο στο μέλλον.

Κεφάλαιο 7^{ο} Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική διερευνήθηκε η δυνατότητα μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης με τη χρήση ΑΠΕ στη Κύπρο. Για την μελέτη και αξιολόγηση βιωσιμότητας εξετάστηκαν 12 περιπτώσεις. Μελετήθηκαν 6 μονάδες αφαλάτωσης για 3 διαφορετικές άνω θερμοκρασίες και συνδυάστηκαν με 2 περιπτώσεις ηλιακών συλλεκτών.

Παράγοντες που επηρεάζουν την οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοια επένδυσης, είναι η τιμολόγηση ηλεκτρισμού δικτύου, το κόστος εξοπλισμού δηλαδή το αρχικό κόστος, η τιμή της γης και η τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού.

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η μελετώμενη μονάδα δεν είναι ανταγωνιστική ούτε συμφέρουσα για την περίπτωση της Κύπρου λόγο της χαμηλής τιμής αγοράς του νερού αφού είναι κάτω από 0.9€/m^3. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί αποθήκευση το κόστος του παραγόμενου νερού περιορίζεται αρκετά αλλά και πάλι όχι αρκετά ώστε να είναι συμφέρουσα η επένδυση.

Μόνο στην περίπτωση που υπάρξει επιχορήγηση κατά 50% λόγο ΑΠΕ τότε γίνεται συμφέρουσα η επένδυση.

Η μονάδα είναι ανταγωνιστική και συμφέρουσα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες αφαλάτωσης όπως είναι οι αυτόνομες μονάδες αντίστροφής όσμωσης.

Ίσως η μελετώμενη μονάδα να είναι ανταγωνιστική και συμφέρουσα για ορισμένα Ελληνικά Νησιά στο νότιο Αιγαίο ή στις Κυκλάδες αφού σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν πολύ μεγάλο κόστος νερού λόγο μεταφοράς του.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Όπως παρατηρούμε στο γράφημα 5.3.16 που μας δείχνει την ημερήσια παραγωγή νερού έχει μορφή ‘’τριγώνου’’ λόγω του ότι οι ηλιακοί συλλέκτες είναι σε ακίνητο κεκλιμένο επίπεδο και δεν παρακολουθούν την κίνηση του ηλίου. Αυτό έχει αποτέλεσμα οι συλλέκτες να αποδίδουν στο μέγιστο μόνο για μια ή δυο ώρες κάθε μέρα όταν ο ήλιος είναι στην ιδανική γωνία.

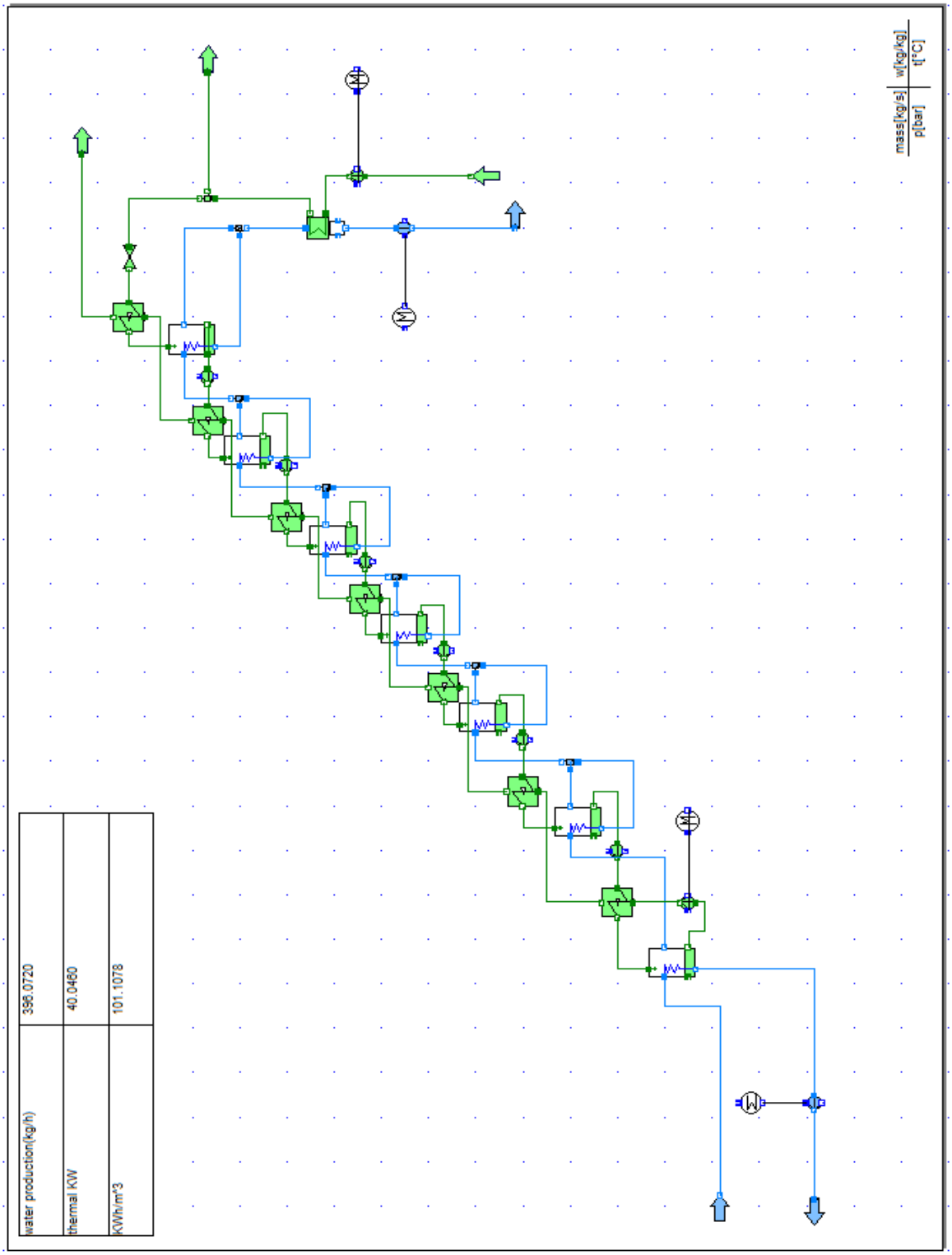
Εάν αντί για τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες χρησιμοποιηθούν παραβολικοί συλλέκτες με παρακολούθηση του ήλιου τότε το γράφημα θα είχε τη μορφή ‘’τραπεζίου’’ δηλαδή θα δούλευαν στο μέγιστο για περισσότερες ώρες. Στη περίπτωση αυτή θα μπορούσε η μονάδα να έχει υψηλότερη άνω θερμοκρασία ή να συνδυαστεί με θερμική συμπίεση ατμών (TVC) αφού έτσι θα μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερος θερμικός βαθμός απόδοσης, δηλαδή λιγότερη θερμική ενέργεια ανά παραγόμενο νερό (kWh$_{th}$/m^3). Στην περίπτωση αυτή το κόστος των ηλιακών συλλεκτών θα είναι μεγαλύτερο αλλά η αναγκαία επιφάνεια θα είναι μικρότερη και άρα το κόστος της γης θα είναι μικρότερο.

Βιβλιογραφία

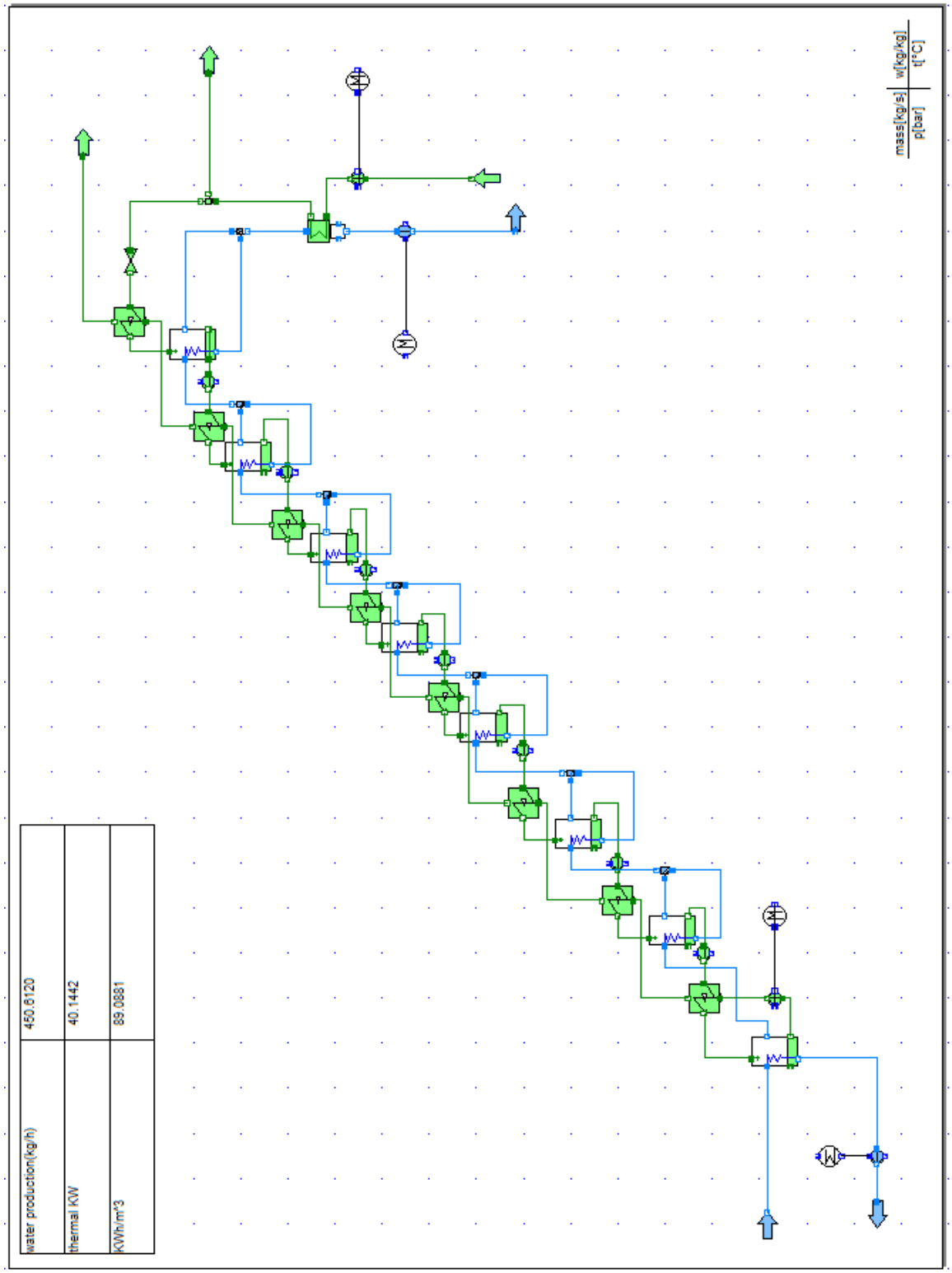
[1]. Wikipedia, the free encyclopedia-sun.
http://en.wikipedia.org/wiki/Sun [Ηλεκτρονικό]
[2]. Wikipedia, the free encyclopedia-solar energy.
http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy [Ηλεκτρονικό]
[3]. Wikipedia, the free encyclopedia-earth's orbit.
http://en.wikipedia.org/wiki/Earth's_orbit [Ηλεκτρονικό]
[4]. Soteris Kalogirou. Solar Energy Engineering: Processes and Systems.
s.l.: Elsevier 2009. ISBN 978-0-12-374501-9.
[5]. Κίμων Α. Αντωνόπουλος**.** Καθηγητής Ε.Μ.Π. Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα (Μέρος Πρώτο). s.l.: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2008.
[6]. ITACA (Innovación en Tecnología Apropiada Comunitaria y Autónoma).
http://itacanet.org/eng/elec/solar/sun3.pdf [Ηλεκτρονικό]
[7]. Teach Engineering. Lesson: Solar Angles and Tracking Systems.
http://www.teachengineering.org/view_lesson.php?url=http://www.teachengineering.org/collection/cub_/lessons/cub_pveff/cub_pveff_lesson01.xml [Ηλεκτρονικό]
[8]. Geyer Dr. Michael**.** *Concentrated Solar Thermal Power- Now!*
s.l.: SolarPaces, September 2005.
[9]. Solar Server- Online Portal to Solar Energy.
http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-report/solar-report/concentrated-solarpower.html [Ηλεκτρονικό]
[10]. Solargis: Online data and tools for solar energy projects.
http://solargis.info/
[11]. Γ. Κατσίγιαννης, "Ηλιακοί Συλλέκτες"
[12]. Παρουσίαση ''Ηλιακά θερμικά συστήματα – Φωτοβολταϊκά '' Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου http://www.cea.org.cy/
[13]. Θερμικά Ηλιακά Συστήματα (Περιγραφή-Εφαρμογές-Οδηγίες Συντήρησης), Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
[14]. J.A. Duffie, W.A. Beckman "Solar Engineering of Thermal Processes" 3nd Edition, John Wiley and sons, INC, 1991
[15]. Τμήμα αναπτύξεως υδάτων [Ηλεκτρονικό]
http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/brhistory_gr/brhistory_gr?OpenDocument
[16]. Τμήμα αναπτύξεως υδάτων [Ηλεκτρονικό]
http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/2ACB760DDE60ED1CC2256E3F0048E3FA?OpenDocument
[17]. Τμήμα αναπτύξεως υδάτων [Ηλεκτρονικό]
http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/All/FFD91C9E17687FB2C2257DA9002B1FD7?OpenDocument

[18]. Water woes [Ηλεκτρονικό]
http://whyfiles.org/131fresh_water/2.html
[19]. Water Treatment and Purification – Lenntech [Ηλεκτρονικό]
http://www.lenntech.com/specific-questions-water-quantities.htm
[20]. Encyclopedia of Desalination and Water Resources – DESWARE [Ηλεκτρονικό]
http://www.desware.net/desa7.aspx
[21]. Wikipedia, the free encyclopedia – Desalination [Ηλεκτρονικό]
https://en.wikipedia.org/wiki/Desalination#Low-temperature_thermal
[22]. Σαατσάκης Γ. Ελευθέριος «Μελέτη Ηλιοθερμικής Εγκατάστασης Με Πύργο Ηλιακής Ισχύος Στην Περιοχή Του Αθερινόλακκου»
[23]. Κατερίνα Παπάζογλου «Προσομοίωση πρότυπου ηλιακού συλλέκτη με ανάπτυξη υπολογιστικού κώδικα»
[24]. Γεωργίος Παλιεράκης «Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών»
[25]. Buros, O. K. The ABCs of Desalting. s.l. : International Desalination Association.
[26]. Χουστουλάκης Ιωάννης «Οικιακή θερμική αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας» [27]. Ettouney και El-Dessouky. Fundamentals of Water Desalination. s.l. : Elsevier, 2002.
[28]. Λιάτσου Δ., Χριστίνα-Σερμίνα. Συστήματα Αφαλάτωσης με Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. s.l. : ΕΜΠ.
[29]. Βασιλείου Χαράλαμπος «Τεχνοοικονομική αξιολόγηση εγκατάστασης συστημάτων συμπαραγωγής και τριπαραγωγής σε υφιστάμενα ξενοδοχεία στη Κύπρο »
[30]. Γ. Κάραλης παρουσίαση ‘’Αξιολόγηση αιολικών επενδύσεων’’
[31]. Αραβώσης Κωνσταντίνος Κατάρτιση και αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων και προγραμμάτων ISBN: 978-960-272-885-7
[32]. Dr. Corrado Sommariva ‘’THERMAL DESALINATION PROCESSESAND ECONOMICS’’
[33]. Veolia water solutions & technology ‘’Processes for sea water desalination’’
[34]. Investigation of an autonomous hybrid solar thermal ORC PV RO desalination system. The Chalki island case. Elsevier 2011 ISSN: 09601481
[35]. Wikipedia, the free encyclopedia-Χάλκη Δωδεκανήσου [Ηλεκτρονικό]
https://el.wikipedia.org/wiki/Χάλκη_Δωδεκανήσου
[36]. Evangelia Gkeredaki ‘’OSMOSIS FOR REMOTE COASTAL AREAS’’

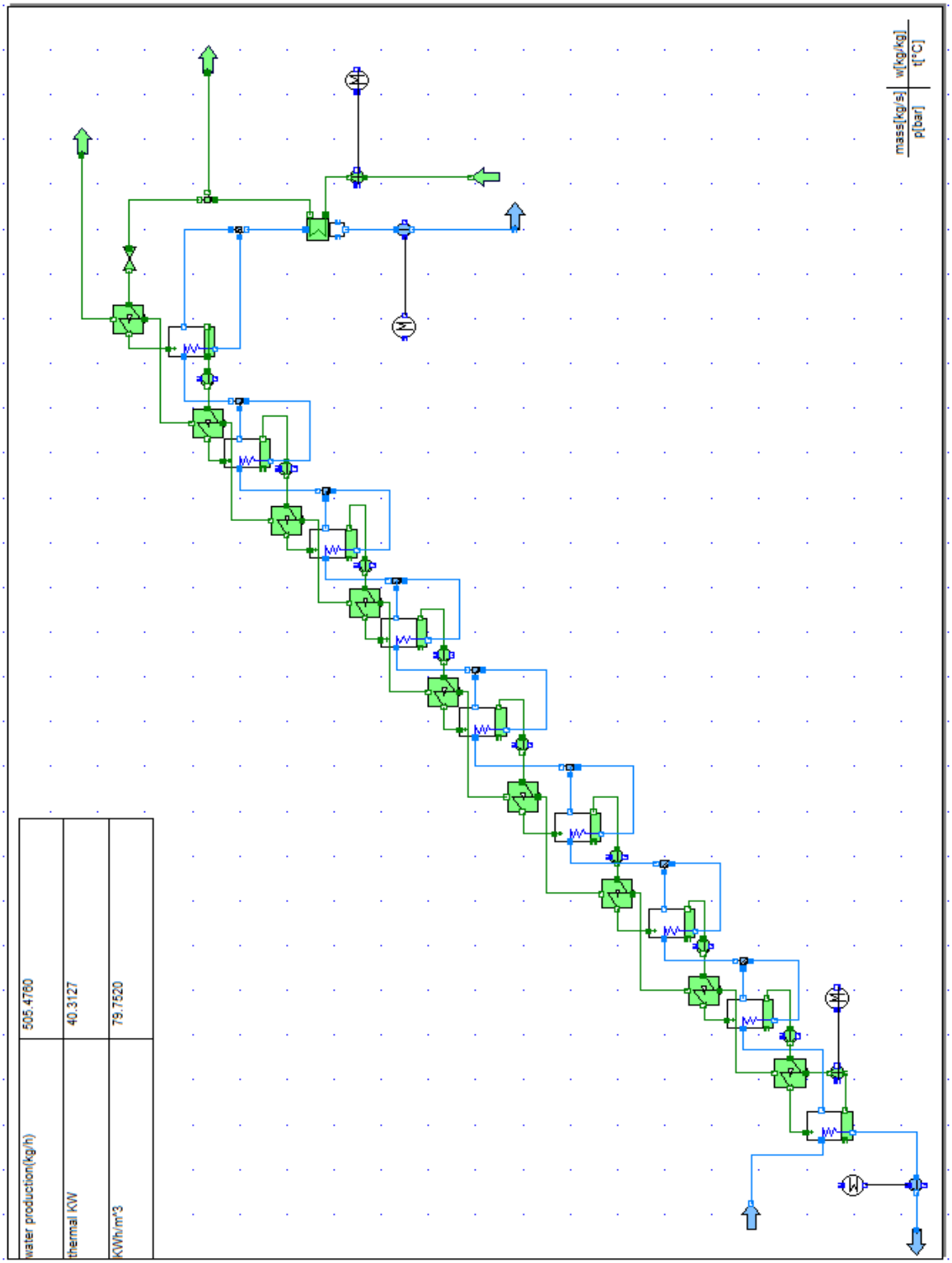
Παράρτημα Α



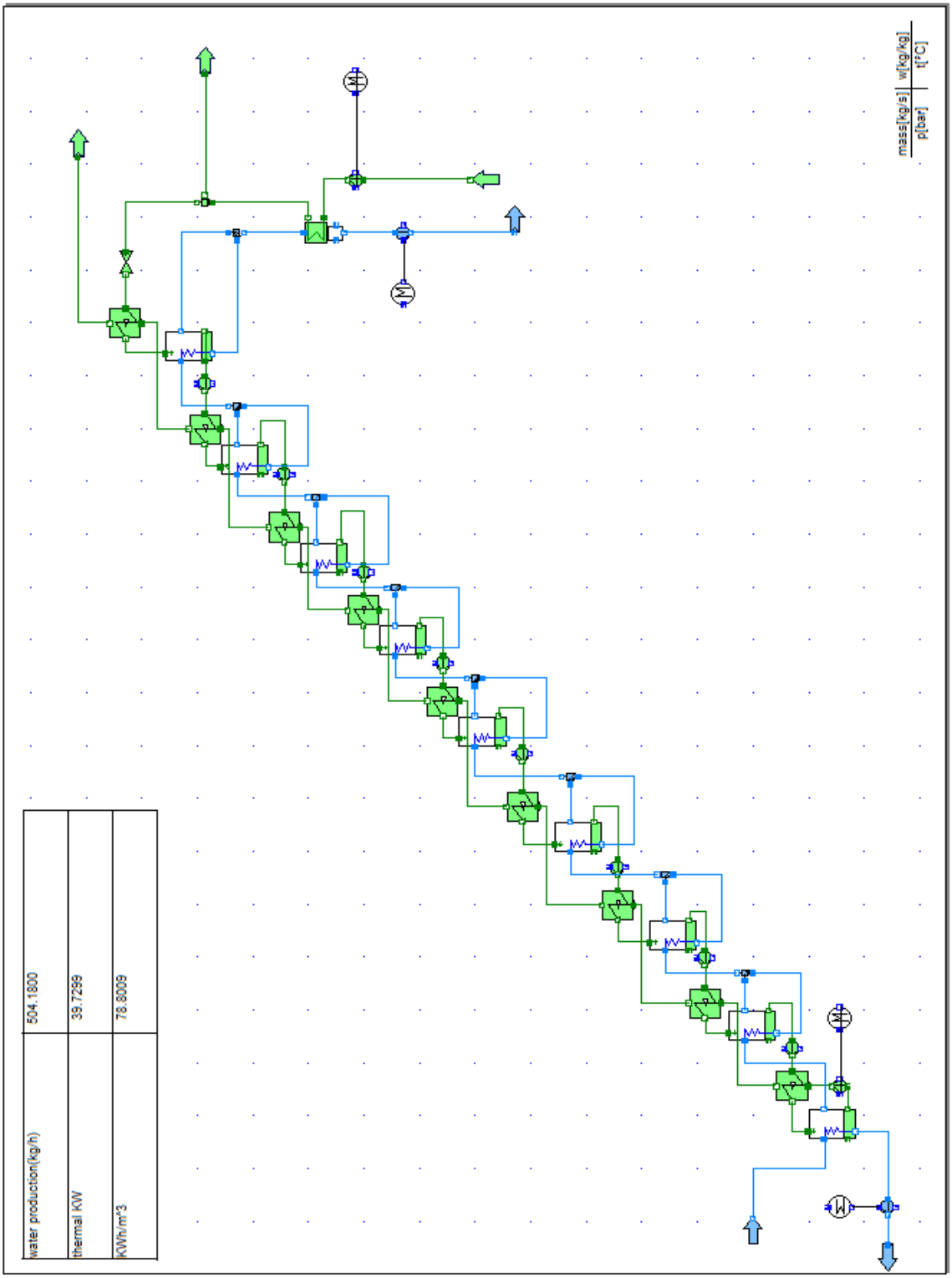
Σχήμα χ.1.1 Μονάδα MED με 7 βαθμίδες και άνω θερμοκρασία 62.5 ^{o}C



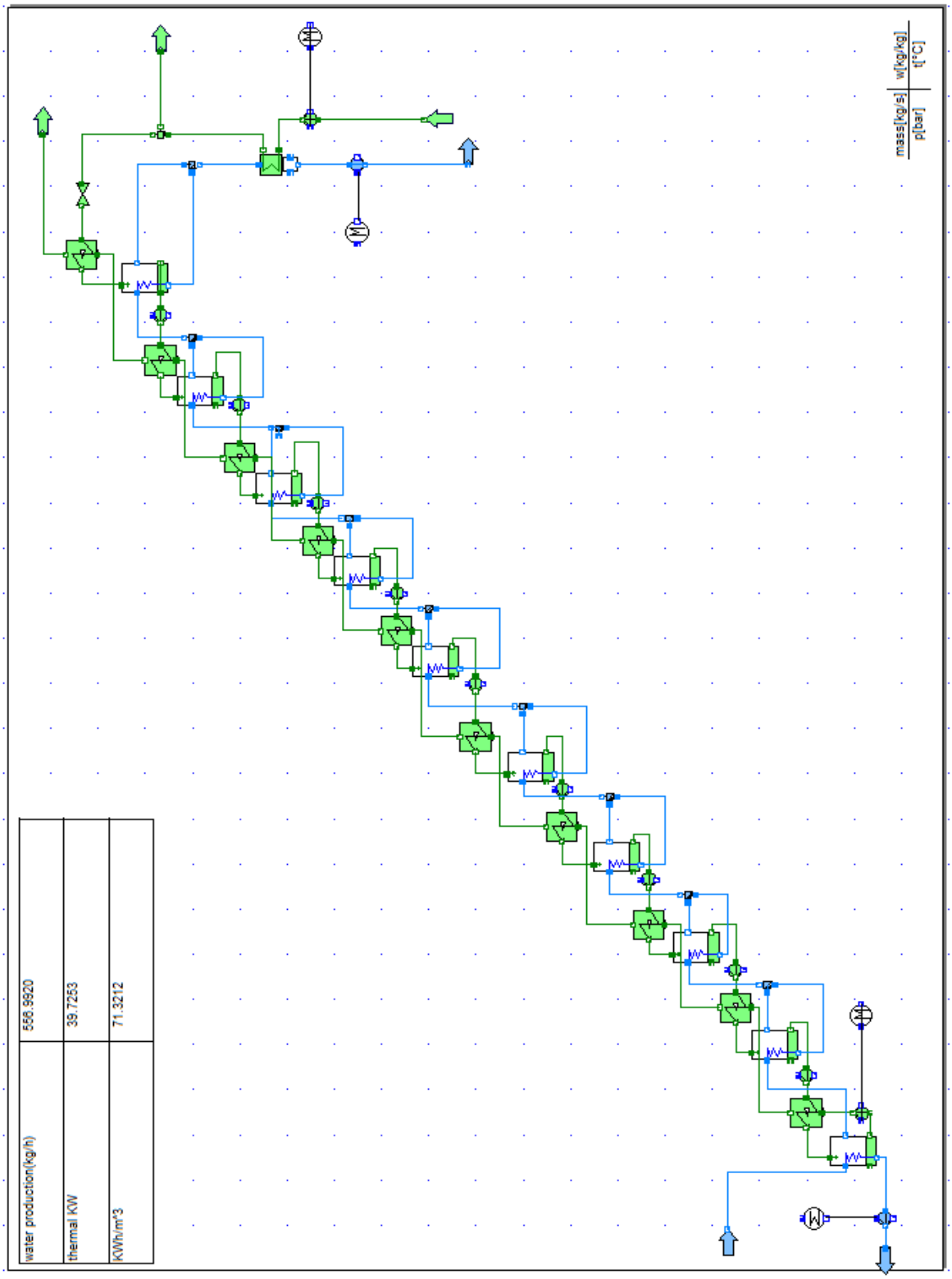
Σχήμα χ.1.2 Μονάδα MED με 8 βαθμίδες και άνω θερμοκρασία 67.5 ^{o}C



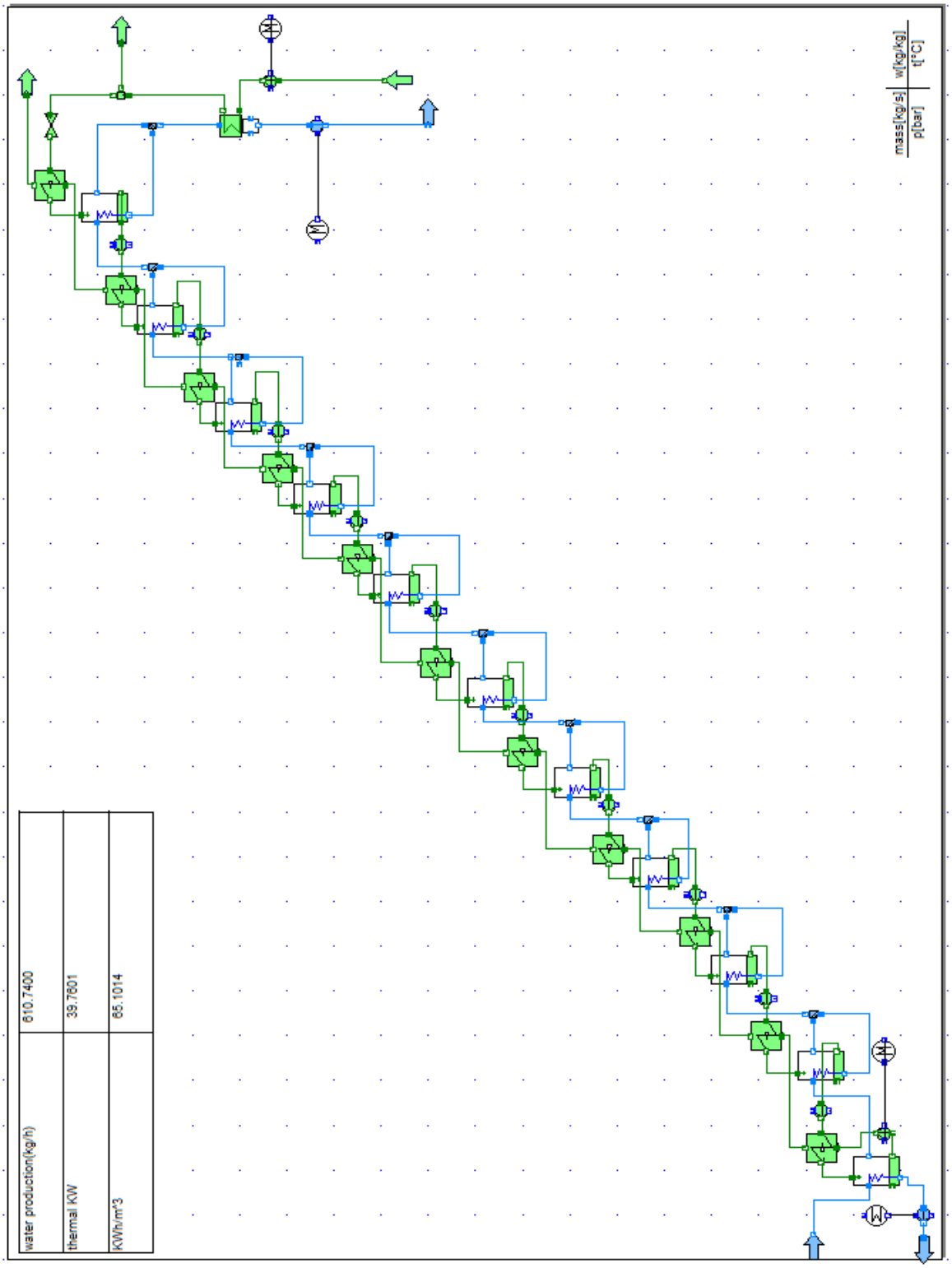
Σχήμα χ.1.3 Μονάδα MED με 9 βαθμίδες και άνω θερμοκρασία 72.5 ^{o}C



Σχήμα χ.1.4 Μονάδα MED με 9 βαθμίδες και άνω θερμοκρασία 63.5 ^{o}C

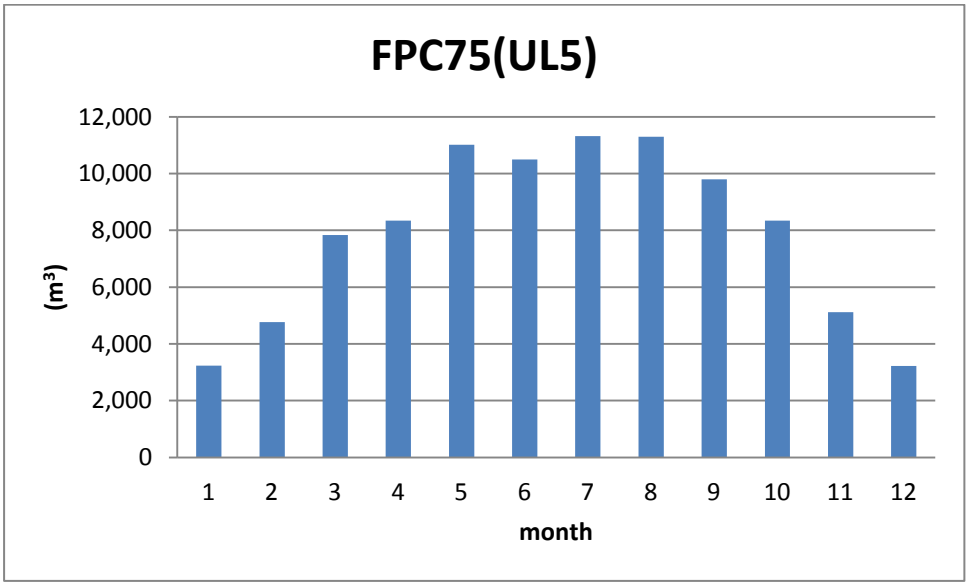


Σχήμα χ.1.5 Μονάδα MED με 10 βαθμίδες και άνω θερμοκρασία 67.5 ^{o}C

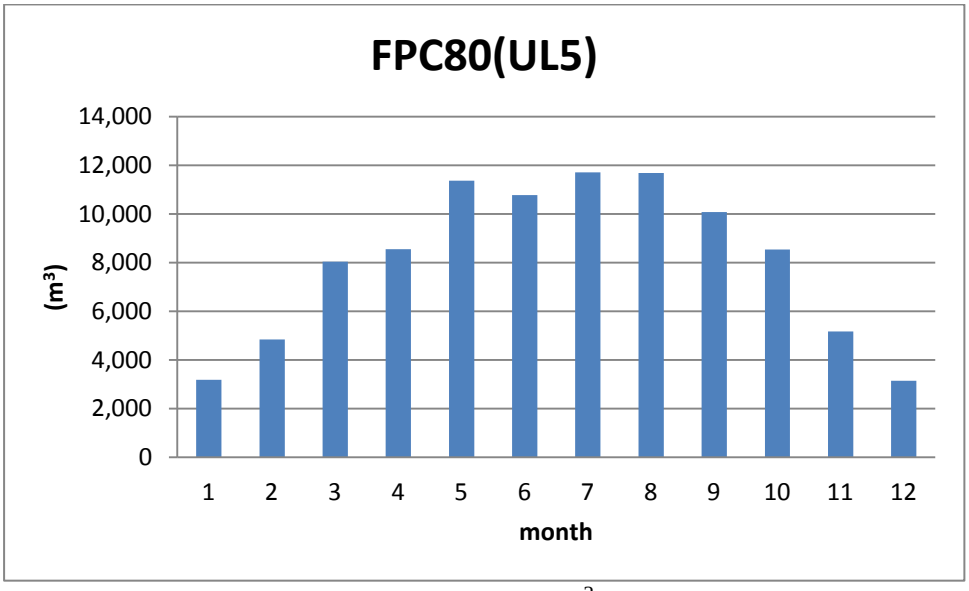


Σχήμα χ.1.6 Μονάδα MED με 11 βαθμίδες και άνω θερμοκρασία 71.5 ^{o}C

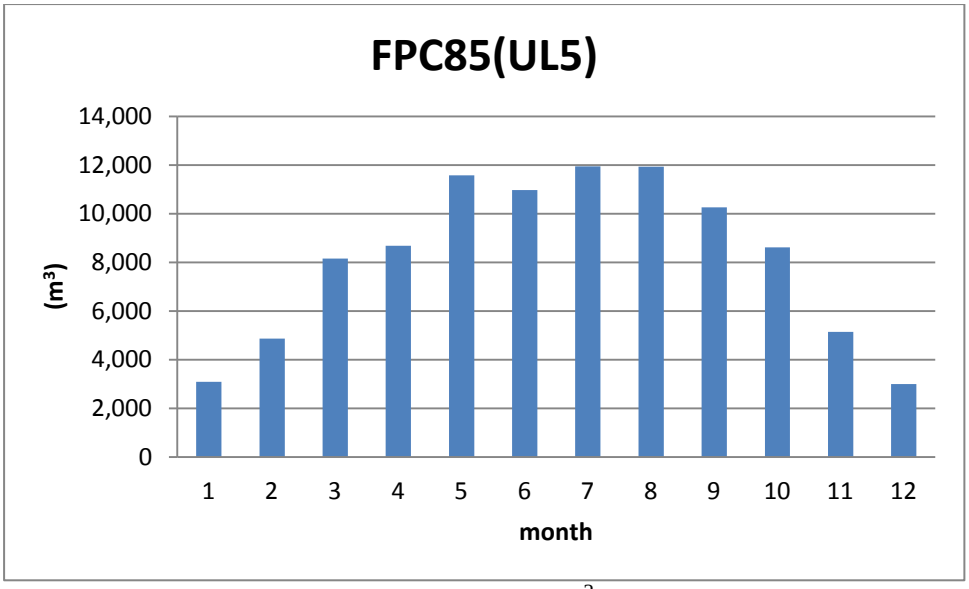
Παράρτημα Β



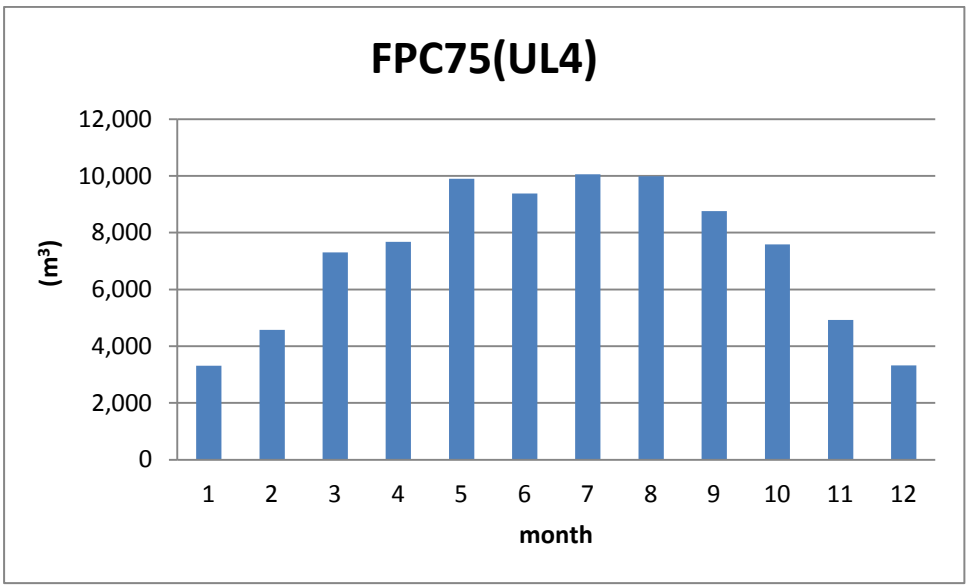
Γράφημα Β.1 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5



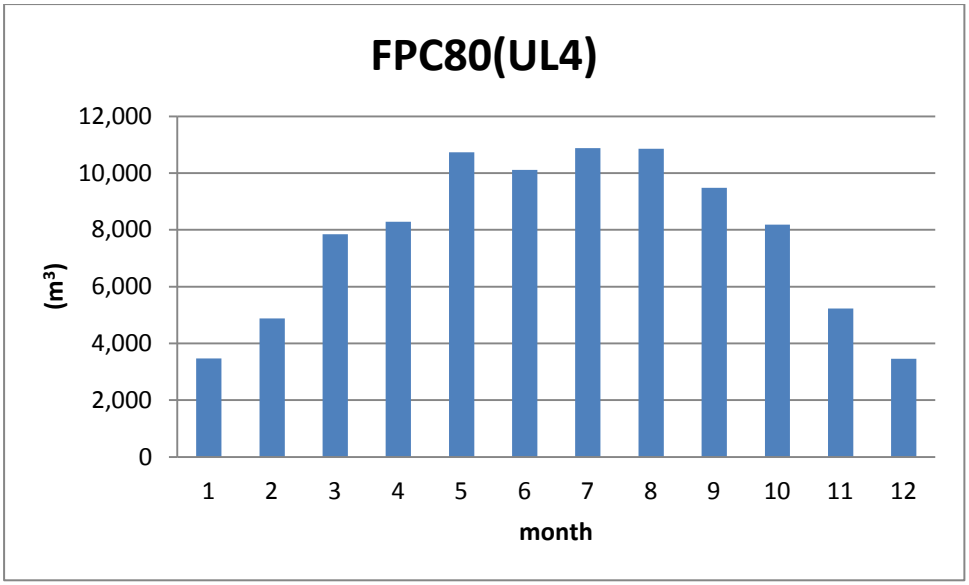
Γράφημα Β.2 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 10 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5



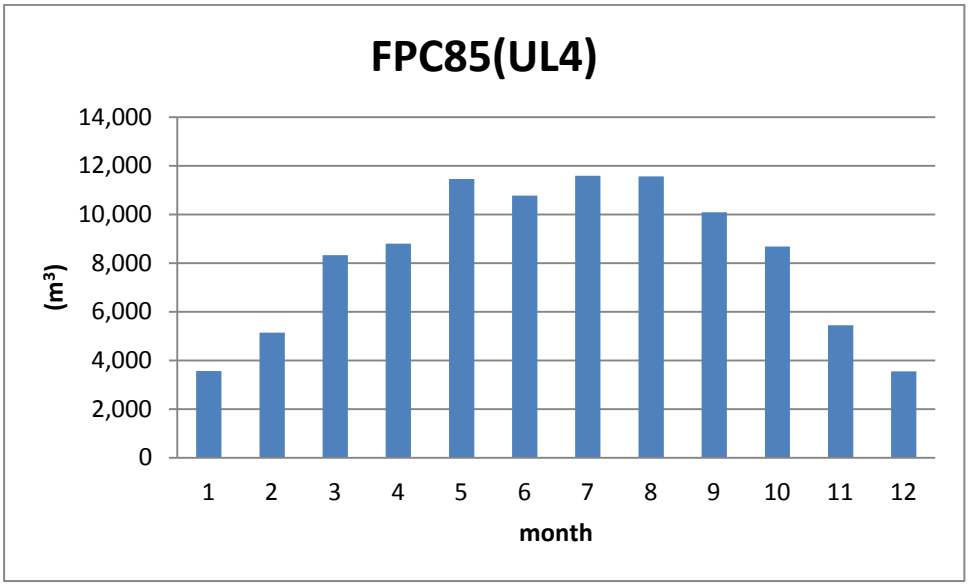
Γράφημα Β.3 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 11 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5



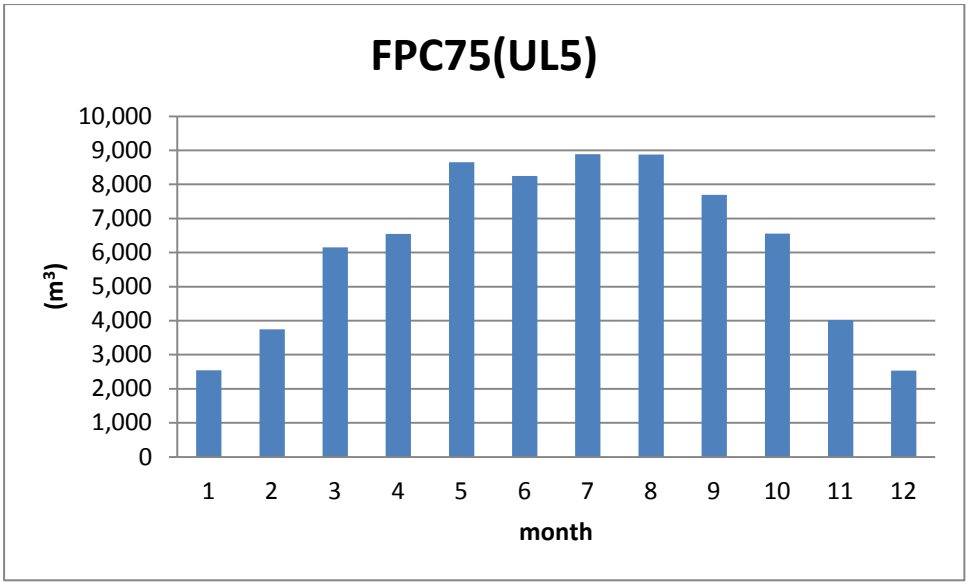
Γράφημα Β.4 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 7 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



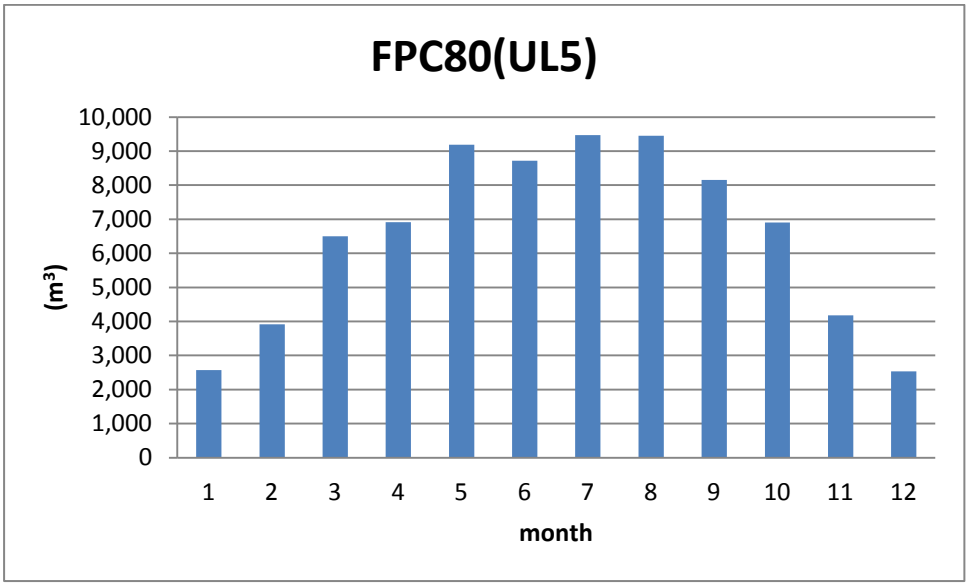
Γράφημα Β.5 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 8 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



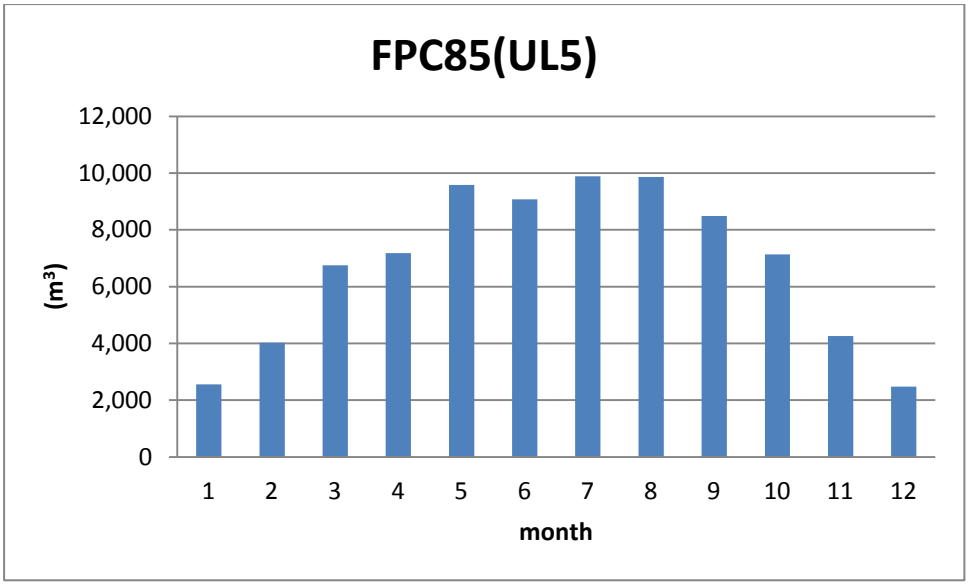
Γράφημα Β.6 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=4



Γράφημα Β.7 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 7 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5



Γράφημα Β.8 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 8 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5



Γράφημα Β.9 Συνολική παραγωγή νερού (σε m^3) ανά μήνα για 9 βαθμίδες και συντελεστή θερμικών απωλειών U_L=5

Παράρτημα Γ

Μηνιαία Διατίμηση Βιομηχανικής Χρήσης εποχιακής Μέγιστης Ζήτησης Μέσης Τάσης (κώδικας 74)

Οι επιβαρύνσεις, με βασική τιμή καυσίμων €300/Μ.Τ., για κάθε μήνα για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος με βάση την παρούσα διατίμηση είναι:

Σταθερή επιβάρυνση €174,24

Για κάθε κιλοβολταμπέρ (kVA) της μέγιστης ζήτησης (00:00 - 24:00) για τον καθένα από τους πιο κάτω μήνες:

- Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο €5,28
- Οκτώβριο μέχρι και το Μάιο €2,43

Και

Για τις παρεχόμενες μονάδες κάθε μήνα:

- Για καθεμιά από τις πρώτες 200 μονάδες ανά κιλοβολταμπερ (kVA) μέγιστης ζήτησης του μήνα €0,1377
- Για κάθε επιπρόσθετη μονάδα €0,1275

Ρήτρα Καυσίμων:

Κάθε μήνα οι επιβαρύνσεις για κάθε μονάδα που χρεώνεται θα αυξάνονται ή μειώνονται ανάλογα με την εκάστοτε ισχύουσα τιμή του Συντελεστή Ρήτρας Καυσίμων για κάθε 5 cent αύξηση ή μείωση στη βασική τιμή των €300 του κόστους καυσίμων κατά μετρικό τόνο, το κόστος του οποίου θα καθορίζει η ΑΗΚ για το μήνα, με βάση την τιμή αγοράς καυσίμων.

Κόστος Καυσίμων

Μηνιαίοι Καταναλωτές	**Διμηνιαίοι Καταναλωτές**	**Μέση Μηνιαία Σταθμική Τιμή Καυσίμων**	**Αύξηση επί της βασικής τιμής ανά χρεωνόμενη μονάδα (σεντ)**	
2016				
	Ιανουάριος	279,60	ΨΗΛΗ ΤΑΣΗ	-0,4896
			ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	-0,5018

			ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	-0,5141
Ιανουάριος	**Φεβρουάριος**	237,75	ΨΗΛΗ ΤΑΣΗ	-1,4940
			ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	-1,5314
			ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	-1,5687
Φεβρουάριος	**Μάρτιος**	227,20	ΨΗΛΗ ΤΑΣΗ	-1,7472
			ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	-1,7909
			ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	-1,8346
Μάρτιος	**Απρίλιος**	185,50	ΨΗΛΗ ΤΑΣΗ	-2,7480
			ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	-2,8167
			ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	-2,8854
Απρίλιος	**Μάιος**	206,40	ΨΗΛΗ ΤΑΣΗ	-2,2464
			ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	-2,3026
			ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	-2,3587
Μάιος	**Ιούνιος**	196,95	ΨΗΛΗ ΤΑΣΗ	-2,4732
			ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	-2,5350
			ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	-2,5969

Ρήτρα Καυσίμων				
	από 1/2/13	0,00119		για μηνιαίους
	από1/3/13	0,00119		για διμηνιαίους
	από 1/6/15	0,00125		για μηνιαίους
	από 1/7/15	0,00125		για δημινιαίους
	από 1/8/15	ΨΗΛΗ ΤΑΣΗ	0,00120	για μηνιαίους
		ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ	0,00123	
		ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ	0,00126	
	από 1/9/15	0,00126		για δημινιαίους

Αναπροσαρμογή Ρήτρας Καυσίμων επί της Βασικής Τιμής Αγοράς kWh = (Μέση Σταθμική Τιμή Καυσίμων – Βασική Τιμή Καυσίμων) / 5 cent x Συντελεστή Ρήτρας Καυσίμων
Υποχρεώσεις Δημόσιας Ωφελείας (Υ.Δ.Ω.) = €0,00136/kWh